

معهد مراقبة البيئة العالمية

( وورلد واتش )

وثيقة ٨٧

# حماية الحياة على الأرض : خطوات لإنقاذ طبقة الأوزون

تأليف : سينثيا بولوك شى  
ترجمة : الدكتور أنور عبد الواحد



الدار الدولية للنشر والتوزيع



---

معهد مراقبة البيئة العالمية

( وورلد واتش )

وثيقة ٨٧

---

حماية الحياة على الأرض :  
خطوات لإنقاذ طبقة الأوزون

---



General Organization of the Alexandria Library (GOAL)  
*General Organization of the Alexandria Library*

---

إن معهد مراقبة البيئة العالمية Worldwatch Institute منظمة بحثية مستقلة لا تستهدف الربح ، ولقد أنشئت لتحليل المشكلات العالمية وتركيز الاهتمام عليها ، وببديها ليستر ر. براون ، وتمولها مؤسسات خاصة ومنظمات الأمم المتحدة . ووثائق معهد مراقبة البيئة العالمية تكتب لجمهور عريض على النطاق العالمى من صانعى القرارات والدارسين والجمهور العام .

---

---

# حماية الحياة على الأرض : خطوات لإنقاذ طبقة الأوزون

نألف  
سيتيا بولوك شى

ترجمة  
الدكتور أنور عبد الواحد



الدار الدولية للنشر والتوزيع

القاهرة - الكويت - لندن

Worldwatch Paper 87 : PROTECTING LIFE ON EARTH: STEPS TO SAVE THE  
OZONE LAYER by Cynthia Pollock Shea. Copyright © 1988 by Worldwatch  
Institute.

ALL RIGHTS RESERVED.

ISBN 0-918468-88-7

أشرفت الجمعية المصرية لنشر المعرفة والثقافة العالمية بالقاهرة على ترجمة وإخراج هذه  
الطبعة من الكتاب ، كما قامت بأعمال الجمع التصويري وإعداد الأفلام .  
The Egyptian Society for the Dissemination of Universal Culture  
and Knowledge (ESDUCK), Cairo, supervised the translation and  
production of this edition. Phototypesetting and films were done by  
ESDUCK.

## حقوق النشر

الطبعة العربية الأولى : حقوق الطبع والنشر (C) ١٩٩٢ ، جميع الحقوق محفوظة للناس

### الحار الدولية للنشر والتوزيع

أ. إبراهيم العرابي - النهضة الجديدة - القاهرة

ص.ب : ٥٥٩٩ هليوبوليس غرب - القاهرة

تليفون : ٢٩٩٠٩٧٠

تلكس : ٢٠٨١٥ PES UN

فاكس : ٢٩٩٠٩٧٠ / ٢٠٢٠٢

لا يجوز نشر أى جزء من هذا الكتاب أو تخزين مادة بطريقة الاسترجاع أو نقله على أى نحو أو  
بأى طريقة سواء كانت الكترونية أو ميكانيكية أو خلاف ذلك إلا بموافقة الناشر على هذا كتابة  
ومقنناً

---

## المحتويات

٧	..... مقدمة
١٠	..... لغز استنفاد الأوزون
٢٠	..... تأثيرات الأشعاع فوق البنفسجي
<u>٢٨</u>	..... العجائب الكيميائية وأوغاد الجو
٣٦	..... تقليل الانبعاثات
٥١	..... ما بعد مونتريال
٦١	..... ملاحظات





حينما أعلن العلماء البريطانيون في عام ١٩٨٥ عن حدوث ثقب في طبقة الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية ( أنتاركتيكا ) في كل ربيع منذ عام ١٩٧٩ ، فإن الأنباء كانت بمثابة مفاجأة كاملة . ورغم أن النظرية التي تقول بأن مجموعة من الكيماويات المستعملة على نطاق واسع ، وتسمى الكلوروفلوروكربونات ( ك ف ك ) ، ستؤدي يوما ما إلى تآكل طبقة الأوزون الجوية العليا ، كانت قد طُرحت في منتصف السبعينيات ، إلا أن أيًا من النماذج لم يكن قد تنبأ بأن الاستنفاد depletion سيتضح أولا فوق القطب الجنوبي — وأنه سيكون قاسيا . وأصيب العلماء بالحيرة : ما الذي يُهدد هذا النظام الأساسي للحفاظ على الحياة ، وما عدد المفاجآت الأخرى التي لم يُكشف عنها بعد ؟ (١)

والأوزون ، وهو صورة جُزئية للأكسجين يكون فيها جُزئيته ذا ثلاث ذرات من الأكسجين ، هو الغاز الوحيد في الجو الذي يحدّ من الإشعاع فوق البنفسجي المنبعث من الشمس والواصل إلى الأرض . ويوجد معظمه عند ارتفاعات تتراوح بين ١٢ و ٢٥ كيلومترا ، ولكن حتى هناك ، عند أعلى تركيزاته فإن وجوده لا يزيد على أجزاء قليلة في المليون . فالتفاعلات الكيميائية التي يُحدثها ضوء الشمس تُعرّض الأوزون فوق المناطق الاستوائية ، ويُثقل دوران الهواء بعضا منه إلى القطبين .

أود أن أشكر باخلاص سوزان فاين وبيروس جولدشتاين على معاونتهما البحثية ، وسوزان نوريس على مساعدتها الإنتاجية . وإنتي بمنّة للدجلاس كوجان ، وكريستوفر فلاين ، وجون هوفمان ، وستندرا بوستل ، وشيروود رولاند ، وبيثيل أوبهايمر ، على تعليقاتهم التي أهدوا على الملاحظات المبكرة للمنظومة .

ومع حلول الربيع القطبي الجنوبي لعام ١٩٨٧ ، هبط متوسط تركيز الأوزون فوق القطب الجنوبي ٥٠ في المائة ، مع اختفائه تقريباً في بعض البقاع . ورغم أن النقص كان مُنلِداً بالخطر ، فإن الكثيرين ظنوا أن الاستنفاد كان موسمياً ومقتصرأ على القارة القطبية الجنوبية ، وهي ظاهرة يمكن أن تُعزى إلى الكيمياء الجوية المتغيرة ، وإلى دورانٍ عَجِيزٍ للهواء القطبي (2) .

وأودى تقرير علمي صدر في مارس ١٩٨٨ بهذه النظرة . فقد أعلنت مجموعة دولية من أكثر من ١٠٠ خبير أن طبقة الأوزون الموجودة حول الكرة الأرضية باكملها كان تأكلها أسرع بكثير مما تنبأت به النماذج . وفيما بين عامي ١٩٦٩ و ١٩٨٦ ، كان متوسط تركيز الأوزون في الاستراتوسفير ( الغلاف الجوي العلوي ) قد هبط بنسبة ٢ في المائة تقريباً . وتفاوت مقدار الهبوط وفقاً لخطوط العرض وتعاقب المواسم ، مع معاناة أكثر المناطق الأهلة بالسكان في اوروبا ، وأمريكا الشمالية ، والاتحاد السوفيتي ، من نقصٍ على مدار العام تبلغ نسبته ٣ في المائة ، ومن فقدان في فصل الشتاء بنسبة ٤,٧ في المائة (3) .

ولمّا كان الأوزون يتناقص في طبقة الجو العليا ، فإن الأرض تتلقى مقداراً أكبر من الأشعاع فوق البنفسجي ، مما يشجع على الإصابة بالسرطانات الجلدية وحالات إعتام عدسة العين ( الكتاراكتا ) ويوهن نظام المناعة البشرية . ومع زيادة تغلغل الأشعاع فوق البنفسجي في الجو ، فإنه سيزيد من سوء هذه التأثيرات الصحية ، ويقلل من غلة المحاصيل والثروات السمكية ، ويتلف بعض المواد مثل اللدائن ( البلاستيك ) ، ويزيد من الضباب الدخاني smog . وسيؤثر الاستنفاد المتواصل

للأوزون تأثيراً سيئاً على راحة كل شخص يعيش على كوكب الأرض .

ويوجد حالياً اتفاق واسع النطاق على أن المركبات المحتوية على الكلور والبروم ،  
التي تطلقها العمليات والمنتجات الصناعية ثم تتصاعد إلى طبقة الجو العليا ، هي  
المسؤولة أساساً عن استنفاد الأوزون . ويأتى معظم الكلور من  
الكلوروفلوروكربونات ( ك ف ك ) ، ويصنّدر البروم من الهالونات المستعملة في  
أجهزة إطفاء الحرائق .

ولقد استحثّ ثقب الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية ٣٥ دولة على أن توقع على  
اتفاقية دولية - بروتوكول مونتريال - تهدف إلى تخفيض معظم انبعاثات ك ف ك إلى  
النصف مع حلول عام ١٩٩٨ وإلى تجميد انبعاثات الهالونات مع حلول عام  
١٩٩٢ . ( حتى منتصف نوفمبر ١٩٨٨ ، صدّقت ١٤ دولة على الميثاق ) . ورغم  
أن ذلك يعتبر إنجازاً دبلوماسياً فعالاً ، وخطوة أولى هامة ، إلا أن الاتفاقية تعتورها  
منافذ للتهرب بحيث لا يمكن الوفاء بأهدافها . وعلاوة على ذلك ، فإن النتائج  
العملية التي أعقبت المفاوضات قد كشفت عن أنه حتى لو تحققت أهداف المعاهدة ،  
فسيظل يحدث تدهور تالٍ ملحوظ في طبقة الأوزون (٤) .

والبراهين الجديدة على أن التدفئة العالمية global warming قد تكون جارية بالفعل ،  
تدعم الحاجة إلى إجراء تحكم تالٍ وإلى القضاء على انبعاثات ك ف ك والهالونات .  
ونظراً للخواص القوية التي تتميز بها ك ف ك والهالونات من حيث امتصاص  
الحرارة ، فإنها تسهم إسهاماً هاماً في ظاهرة الصوبة greenhouse effect ، وتمثل

---

نحو ١٥ إلى ٢٠ في المائة من التدفئة المتوقعة . ونظراً لأنها كيميائيات تخليقية يمكن تطوير بدائل لها ، فإنها أسهل غازات الصوبة من حيث إمكانية السيطرة عليها (٥) .

١٠ ولم يَعد هناك أيُّ شك في وجود روابط أساسية بين ك ف ك ، والهالونات ، واستنفاد الأوزون ، وظاهرة الصوبة . ويمكن لتكنولوجيات التحكم المتاحة حالياً ، والقياسيات standards الأكثر تشدداً والمتحكمّة في تشغيل وصيانة المعدات ، أن تقلل من انبعاثات ك ف ك والهالونات بنسبة ٩٠ في المائة تقريباً . إلا أنه لا يزال يلزم صياغة سياسات حكومية وممارسات صناعية فعالة للحد من انبعاثات الكلور والبروم ، ثم القضاء عليها في نهاية الأمر . ولقد جاءت المبادرات المشجعة من بعض الدول ، وفي اسكتلندا فياً بصفة خاصة ، ومن بعض المؤسسات . ولكن كما أن تأثيرات استنفاد الأوزون والتغير في الطقس سيتم الإحساس بها على النطاق العالمي ، كذلك فإن العلاج الباقي والدائم للمشكلات يجب أن يكون عالمياً .

---

### لغز استنفاد الأوزون

في عام ١٩٨٥ ، رَوَّع العالم فريقٌ يرأسه جوزيف فارمان ، من مصلحة المساحة البريطانية للقارة القطبية الجنوبية ، بنشر تقرير عن حدوث فقدان نسبته ٤٠ في المائة من أوزون فصل الربيع فوق تلك القارة . وباستعمال معدات طُوِّرت في العشرينيات ، اكتشف الفريق حدوث أقل تركيز للأوزون تم تسجيله على الإطلاق فوق الكرة الأرضية . ورغم أن ف. شبرود وولاند وماريو مولينا من جامعة

« يمكن لتكنولوجيات التحكم  
المتاحة حالياً أن تقلل من انبعاثات  
ك ف ك والهالونات  
بنسبة ٩٠ في المائة تقريباً » .

١١

كاليفورنيا كانوا قد تنبأ بحدوث انخفاض في الأوزون العالى في عام ١٩٧٤ ، فإن  
المجتمع العلمي الدولى أبدى تشككه ، وتمثل ذلك في التساؤل التالى : لماذا لم  
تكتشف أحدئُ معدّات المراقبة المحمولة على أقمار صناعية متفوقة هذا  
الانخفاض ؟ (6)

وأظهر الفحص الدقيق أن أجهزة الاستشعار بالأقمار قد سجلت الانخفاض في  
الواقع ، بل وأبرزت أقل القيم . والذي حدث ببساطة هو أن العلماء قد أخفقوا في  
معالجة البيانات المبخمة . ومن المحقق أن البحث في ذاكرة الحاسبات قد أوضح أنه  
في عام ١٩٨٤ كان الثقب أوسع مساحةً من الولايات المتحدة وأكثر ارتفاعاً من جبل  
إفرست (7) .

وحينما وُوجه العلماء بالبراهين على هذه الظاهرة المحلية التى لم تكن قد تنبأت بها  
النماذج الجوية العالمية ، فإنهم تدافعوا إلى تفسير السبب وإلى تعيين ما إذا كان  
الاستفاد قد ينتشر إلى أوسع من القارة القطبية الجنوبية . وقلعوا نظريات مبنية على  
كلٍّ من الأسباب الكيميائية والطبيعية وخططوا لإعادة تقويم بيانات الأقمار الصناعية  
والبيانات الأرضية ، جنباً إلى جنب مع إيفاد بعثات إلى القارة . ووصل أول فريق  
إلى هناك في أواخر أغسطس ١٩٨٦ ، على أمل أن يجلّد بسرعة ما إذا كان الثقب قد  
سبّته قوى طبيعية أو كيميائيات تخليقية . ولم يُكشَف السر بسهولة . وآلقت تجارب  
عديدة شيكوكاً على النظريات التى وُجهت اللوم إلى الدورات الشمسية وإلى حركة  
الهواء إلى أعلى من طبقة التروستوسفير ( طبقة الهواء المحيطة بالأرض ) ، ولكن  
الاختبارات التى أجريت لإثبات التدمير الكيميائى لم تكن مؤكدة . ولقد نُخّصت

سوزان سولومون ، رئيسة الفريق ، النتائج على النحو التالي : « بناء » على النظرية الحالية ، فإن الكلور هو العنصر الوحيد الذى لا يمكننا استبعاده . . ونحن نعتد أن آلية كيميائية هي المسئولة أساساً عن الثقب (8) .

١٢

وفى عام ١٩٨٧ تم إيفاد بعثة أخرى أكبر عدداً بكثير ، وتتألف من ١٥٠ من العلماء والأفراد المساعدين يمثلون ١٩ منظمة وأربع دول . واتخذت بعثة الأوزون القومي الثانية قاعدة لها في بونتا أريناس بشيلي ، وأجرت قياسات بواسطة الأقمار الصناعية : والطائرات ، والبالونات ، وقياسات من الأرض . وكانت بيانات الأقمار الصناعية ، التى كانت تتاح في غضون ٢٤ ساعة ، حوثاً للباحثين على توجيه طائرتين مجهزتين تجهيزاً خاصاً إلى مركز الثقب (9) .

وكشفت معدات المراقبة عن أن متوسط تركيز الأوزون في منطقة يبلغ اتساعها ضعف اتساع الولايات المتحدة قد هبط بنحو النصف في الفترة من ١٥ أغسطس حتى ٧ أكتوبر . وفى بعض مناطق داخل الثقب ، اختفى الأوزون تماماً . وعزى العلماء المهبوط إلى مجموعة مؤلفة من العوامل : الظروف الأرضية ( الميتيورولوجية ) الفريدة في القارة القطبية الجنوبية ، ووجود سُحب استراتوسفيرية قطبية ، وتركيزات منخفضة من أكاسيد النتروجين ، والأهم من ذلك وجود تركيزات عالية من الكلور النشط .

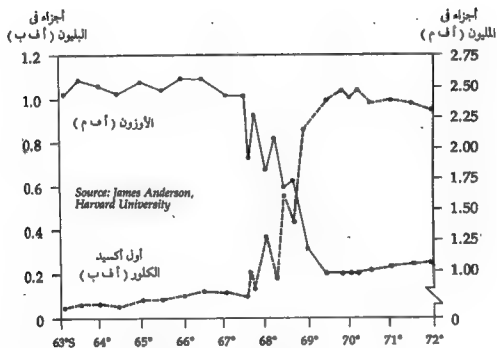
وبدأت ملامح الغلز تتجمع ويوضح بعضها بعضاً . ففي أثناء الشتاء القطبي الجنوبي المحروم من الشمس - من مارس إلى أغسطس تقريباً - يصبح الهواء

« وفي جميع أنحاء ثقب الأوزون ، كانت المستويات المتزايدة من أول أكسيد الكلور مرتبطة بالتركيزات المتناقصة من الأوزون » .

فوق الغارة معزولا في دوامة قطبية لفافة تتسبب في انخفاض درجات الحرارة إلى أقل من - ٩٠ درجة سلسيوس . وهذه بروية كافية لتجمد بخار الماء النادر وتكوين سحب استراتوسفيرية قطبية . وتؤدي التفاعلات الكيميائية على سطح بلورات الجليد إلى تحويل الكلور من صور غير نشطة ، مثل كلوريد الهيدروجين ونترات الكلور ، إلى جزيئات بالغة الحساسية لضوء الشمس . وتتحول أكاسيد النتروجين الغازية ، القادرة عادة على تثميل الكلور ، إلى حمض نيتريك متجمد ، وبالتالي فإنه يصبح غير تفاعل (10) .

ويطلق ضوء الشمس الربيعي الكلور ، مُبْتَدِئاً سلسلة من التفاعلات المدمرة للأوزون والتي تتواصل دون تعويق لمدة خمسة أو ستة أسابيع . وتتحول جزيئات الأوزون إلى جزيئات من الأكسجين العادي ذي اللرتين . ويظهر الكلور دون أن يلحقه أذى ، ومستعداً لمهاجمة أوزون أكثر . وأوضحت التجارب التي أجراها جيمس أندرسون وزملاؤه في جامعة هارفارد أن مستويات أول أكسيد الكلور - وهو ناتج وسيط للتفاعل الكيميائي - كانت أعلى من المعتاد بنحو ٥٠٠ مرة في أكثر المناطق اضطراباً . وفي جميع أنحاء الثقب ، كانت المستويات المتزايدة من أول أكسيد الكلور مرتبطة بالتركيزات المتناقصة من الأوزون . ( انظر الشكل ١ ) (11) .

والأوزون المتناقص في الدوامة يعني أن الجو هناك يمتص قدراً أقل من الاشعاع الشمسي القادم ، وبذلك فإنه يعمل على إدامة درجات الحرارة الأقل وعلى إبقاء الدوامة ذاتها . وفي عام ١٩٨٧ ، لم يُنْقَطِع دوران الدوامة إلا في أوائل ديسمبر ، أي بعد شهر من المعتاد . وإضافة إلى ذلك ، كان الثقب أبرد بنحو ٨ درجات سلسيوس



الشكل ١ : التركيز الجوي لأول أكسيد الكلور  
والأوزون طبقاً لخطوط العرض في نصف الكرة  
الأرضية الجنوبي ، ١٩٨٧

عند ارتفاع ١٥ كيلومتراً عما كان عليه في عام ١٩٧٩ . ونتيجة لهذا ، فإن السحب  
الاستراتوسفيرية القطبية كانت أكثر انتشاراً وبقاءً . وخلاصة ذلك أن ثقب الأوزون  
يُفتلَى على ذاته (12) .

ومن الأمور المتناقضة أن ظاهرة التدفئة العالمية تشجع هذه العملية . فالتركيزات الأعلى  
لغازات الصوبة يُظنُّ أنها مسؤولة عن حدوث تزايد في درجة حرارة سحائم الأرض



وتتناقص في درجة حرارة الاستراتوسفير . وإضافة إلى ذلك ، فالميثان ، وهو أحد الغازات الأساسية للصوبة ، مصدر ملحوظ لبخار الماء الاستراتوسفيري . ويعمل كل من درجات الحرارة الأكثر برودة والرطوبة المتزايدة على تيسير تكون السحب الاستراتوسفيرية (13) .

١٥

وحيث أن ثقب الأوزون لا يمكن أن يصبح أكثر عمقاً فإن هناك مخاوف من إمكانية انتشاره إلى الخارج ، مُطَوِّقاً مناطق أكبر من الأرجنتين وشيلي ويمتدّ فوق أجزاء من استراليا ، والبرازيل ، ونيوزيلندا ، وأرجواي . وهذه المناطق قد تصانئ أيضاً حينها ينقطع دوران الدوامة ويعمل أوزونها على استنفاد تدفق الهواء في جميع أنحاء نصف الكرة الأرضية الجنوبي الأسفل . وفي ديسمبر ١٩٨٧ ، رصدت ثلاث من المحطات الخمس لمراقبة الأوزون في استراليا حدوث هبوط حاد في الأوزون . واستمرت القيم المنخفضة على نحو شاذٍ لمدة ثلاثة أسابيع فوق ملبورن ، مما نتج عنه أقل مستويات مسجلة لمُتوسط الأوزون في شهر ديسمبر . ويتساءل روجر أتكينسون ، من مصلحة الأرصاد الجوية الاسترالية ، عما إذا كان « من الممكن أن تكون هذه هي العلامة الأولى للاستنفاد الممتد فوق استراليا » . (14) .

وعلى حين يُلاحظ أن كثيراً من الظروف الأرصادية والكيميائية المؤدية إلى استنفاد الأوزون إنما تقتصر على القارة القطبية الجنوبية ، فإن البحوث التي أجريت من قواعد على سطح الأرض في جرينلاند خلال شتاء عام ١٩٨٨ قد وجدت تركيزات عالية من الكلور ومستويات منخفضة من الأوزون فوق المنطقة القطبية الشمالية

كذلك . ورغم عدم ظهور دوامة قوية هناك ، وأن درجات الحرارة ليست بنفس القدر من الانخفاض ، فإن سحباً استراتوسفيرية قطبية تتكون فوق المنطقة بالفعل (15) .

١٦

وللحصول على مزيد من المعلومات عن الكيمياء الجوية للمنطقة القطبية الشمالية ، فإن مؤسسة ناسا NASA بالولايات المتحدة ستوفد فرقاً من الباحثين إلى إستافانجر بالنرويج ، وإلى جزيرة إليسمير بكندا ، في أوائل عام ١٩٨٩ . وستستعمل البعثات أجهزة مقامة على الأرض لتحليل المكونات الكيميائية للجو ، وأجهزة ماثلة محمولة بالطائرات لأخذ عينات من الهواء الموجود في السحب الجليدية . وفي هذه الأثناء ، ستقوم أجهزة استشعار محمولة على متن القمر الصناعي نمبوس - Nimbus-7 بفحص ضوء الشمس المنعكس . وسيقوم العلماء الدانمركيون آنبا بتجميع قياسات مأخوذة من قواعد على سطح الأرض في جرينلاند ، والعلماء السوفيت من فوق مناطقهم في أقصى الشمال . كذلك فإن الاتحاد السوفيتي يخطط لإجراء أرصاد بواسطة الطائرات في الوقت نفسه تقريباً (16) .

وتؤدي النظريات عن الكيفية التي يتفاعل بها الكلور على سطح الجسيمات في السحب الاستراتوسفيرية القطبية إلى مشاعر مُقلقة بأنه قد تحدث تفاعلات ماثلة تستنفد الأوزون حول الكرة الأرضية . ولم يتم التحقق من أهمية كيمياء سطح السحب في تدمير الأوزون حتى عام ١٩٨٦ . وفي الوقت الحاضر ، يُنظر إلى دورها كعامل أساسي . ويعتقد بعض العلماء أن الأسطح الكيميائية للكبريتات قد تمتص نفسها التفاعلات الحفّازة للكلور التي تحدث فوق القارة القطبية

« لقد تم تجميع الوثائق عن الخسائر  
في الأوزون حول الكرة الأرضية ، وليس عند  
القطبين فقط . وهي تحدث بسرعة أهل بكثير  
من التنبؤات السابقة » .

الجنوبية . وتوجد ايروسولات الكبريتات من البراكين والعمليات البيولوجية في  
الجو على جميع خطوط العرض ، عند ارتفاعات من ١٥ إلى ٢٢ كيلومترا . وهي  
تسود بصفة خاصة فوق المناطق الأهلة الأكثر كثافة في نصف الكرة الأرضية  
الشمالي ، مما قد يشير إلى الدور الذي تلعبه انبعاثات الكبريت الصادرة من ١٧  
الأنشطة البشرية . وإذا كانت هذه الكيماويات قادرة على استشارة نفس  
التفاعلات الحفازة ، فإن استنفاد الأوزون العالمي قد يُعجل بسرعة أعلى مما هو  
متوقع (١٧) .

ولقد تدعّم الإجماع حول مدى استنفاد الأوزون وأسبابه بنشر التقرير الذي أصدرته  
هيئة اتجاهات الأوزون Ozone Trends Panel التابعة لناسا في ١٥ مارس ١٩٨٨ .  
فلقد قضى أكثر من ١٠٠ عالم من ١٠ دول ١٦ شهراً في استعراض الأبحاث المنشورة  
وفي إجراء تحليل جديد وتفسير لمعظم بيانات الأوزون المستقاة من قواعد أرضية ومن  
الأقمار الصناعية . وكان غرضهم هو : حذف أي أخطاء سببتها الأجهزة نتيجة عيوب  
في معاييرها .

ولقد تم تجميع الوثائق عن الخسائر في الأوزون حول الكرة الأرضية ، وليس عند  
القطبين فقط . ووُجّه اللوم بحزم ، وخاصة عن ثقب الأوزون فوق المنطقة القطبية  
الجنوبية ، إلى الكلوروفلوروكربونات . وذكرت الهيئة في تقريرها أنه فيما بين  
٣٠ - ٦٤ درجة شمال خطوط العرض ، حيث يعيش غالبية الناس في العالم ، قد  
تناقص المقدار الإجمالي للأوزون فوق أية نقطة معينة بنسبة تتراوح بين ١,٧ و ٣,٠  
في المائة خلال الفترة من ١٩٦٩ إلى ١٩٨٦ . ( انظر الجدول ١ ) . وعلاوة على ذلك

الجدول ١ : التناقص العالمي في الأوزون الجوي ، ١٩٦٩ - ٨٦<sup>(١)</sup>

خط العرض	التناقص على مدار العام	التناقص في الشتاء
( في المئات )	( في المئات )	( في المئات )
٥٣ - ٦٤ ش	٢,٣ -	٦,٢ -
٤٠ - ٥٣ ش	٣,٠ -	٤,٧ -
٣٠ - ٤٠ ش	١,٧ -	٢,٣ -
١٩ - ٣٠ ش	٣,١ -	غير معن
صفر - ١٩ ش	١,٦ -	غير معن
صفر - ١٩ ج	٢,١ -	غير معن
١٩ - ٢٩ ج	٢,٦ -	غير معن
٢٩ - ٣٩ ج	٢,٧ -	غير معن
٣٩ - ٥٣ ج	٤,٩ -	غير معن
٥٣ - ٦٠ ج	١٠,٦ -	غير معن
٦٠ - ٩٠ ج	٥,٠ - أو أكثر	غير معن

(١) البيانات للمنطقة ٣٠ إلى ٦٤ درجة شمال خط الاستواء مبنية على معلومات مجمعة من أقمار صناعية ومحطات أرضية من ١٩٦٩ إلى ١٩٨٦ . البيانات للمنطقة من ٦٠ درجة شمالاً إلى القطب الجنوبي مبنية على معلومات مجمعة من أقمار صناعية ومحطات أرضية منذ ١٩٧٩ . كل البيانات الأخرى تم تجميعها بعد نوفمبر ١٩٧٨ من بيانات الأقمار الصناعية فقط .

المصادر : NASA Ozone Trends Panel; Cass Peterson, "Evidence of Ozone Depletion : Found Over Big Urban Areas," *Washington Post*, March 16, 1988.

فإن « تناقصات الأوزون كانت أكثر اتضاحاً في الشتاء ، وتراوحَت بين ٢,٣ و ٢,٦ في المائة (حسب خط العرض) ، وكانت هذه التغيرات الشتوية أعلى مما تنبأت به النماذج الجوية (18) .

١٩

وحيث أن محطات المراقبة ليست سائدة في نصف الكرة الجنوبي كما هي في النصف الشمالي ، فإن الهيئة حذرت من أن البيانات للمناطق الواقعة جنوب ٣٠ درجة شمالاً ليست لا يمكن الاعتماد عليها تماماً ، وأنه من الممكن تعيين التفاوتات الموسمية بدقة . كما نص التقرير على أنه في حين تبلغ المشكلة أسوأ حالاتها فوق القارة القطبية الجنوبية أثناء الربيع ، فإنه « يبدو أن الأوزون قد تناقص منذ عام ١٩٧٩ بنسبة ٩ في المائة أو أكثر عند كل خطوط العرض جنوب ٦٠ درجة جنوباً طوال العام » . ويغطي الثقب وحده نحو ١٠ في المائة من نصف الكرة الأرضية الجنوبي (19) .

ولقد زوّدت نتائج التقرير صانعي السياسات ، وممثلى الصناعة ، والباحثين حول العالم . وقبل نشر التقرير ، كانت ظاهرة استنفاد الأوزون العالمي ودور الكلوروفلوروكربونات مثار خلاف ساخن . وفي غضون أسابيع قليلة ، تم تقبل استنتاجات التقرير على نطاق واسع ، وبدأ جدال الجاهلير في الاستفحال . فعل حين فجأة ، أصبح استنفاد الأوزون حقيقة ، ولم يعد مجرد نظرية ، وعرف الناس في جميع أنحاء العالم مدى ما وصلت إليه المشكلة المُطبقة من سوء .

وتنبه العلماء إلى الخطر ، لا من جرّاء الضرر المُوثَّق الذي لحق بطبقة الأوزون فحسب ، بل وبسبب عدم صلاحية نماذجهم للتنبؤ به . فاستنفاد الأوزون يحدث.

بسرعة أعظم بكثير ، وينمط مختلف غاماً عما سبق توقعه . ولا يزال من غير المؤكد إلى حد كبير مقدار ومكان ما سيحدثه استنفاد الأوزون في المستقبل . ورغم أن الآليات الأساسية لاستنفاد الأوزون مفهومة بصفة عامة ، إلا أنه لا يزال من المشكوك فيه التأثير الكمي لكيمياء سطح السحب ، ومعدل التفاعلات الكيميائية المختلفة ، والمسالك الكيميائية المحددة لهذه التفاعلات . وطبقاً لما ذكره شيرود أندرسون ، وهو أحد الأوائل الذين نبهوا إلى الخطر ، فإن قرارات السياسات في الوقت الحالي ولمدة عقد آخر على الأقل يجب ألا تتخذ بدون خطوط استرشادية كمية وجيدة لما يجتبه المستقبل (20) .

### تأثيرات الأشعاع فوق البنفسجي

إن البشرة المُسمَّرة والمتجعدة والمتجلدة ، وبعض الاضطرابات المعينة التي تصيب العين ، واللدائن القصفة ، إنما يتسبب فيها جميعاً الإشعاع فوق البنفسجي الذي يصل إلى سطح الأرض . وفي الوقت الحاضر ، يمتص الأوزون قدرًا كبيراً من الضوء فوق البنفسجي الذي ينبعث عن الشمس بأطوال موجية تلحق الضرر بالبشر والحيوانات والنباتات . ( إن أكثر الأطوال الموجية إحدائاً للضرر من الناحية البيولوجية هي التي تقع في نطاق ٢٩٠ - ٣٢٠ نانومتر ، والتي يشار إليها بالرمز UV-B أي الأشعاع فوق البنفسجي - ب . ولكن طبقاً لبعض إسقاطات غير مؤكدة من نماذج الحاسبات ( الكمبيوتر ) ، فإن تآكل جزء الأوزون قد تنتج عنه زيادة تتراوح بين ٥ و ٢٠ في المائة في الأشعاع فوق البنفسجي الواصل إلى المناطق المسكونة في غضون الأربعين سنة القادمة — ومعظمها يقع في نطاق الأشعاع فوق البنفسجي - ب (21) .

« إن تآكل درع الأوزون قد تنتج عنه زيادة بنسبة ٥ - ٢٠ في المائة في الاشعاع فوق البنفسجي الواصل إلى المناطق المسكونة في غضون الأربعين السنة القادمة » .

وعلى ضوء النتائج التي توصلت إليها هيئة اتجاهات الأوزون التابعة لناسا ، ووكالة الحماية البيئية (EPA) في الولايات المتحدة ، فإن إسقاطات الأضرار المذكورة في هذا الباب تعتبر متحفظة . ورغم أن نطاقات EPA مبنية على استراتيجيات التحكم الحالية ، فإنها تفترض أن مستويات استنفاد الأوزون تتراوح بين ١,٢ و ٦,٢ في المائة . ومع ذلك ، فإن مناطق العالم كافة قد عانت بالفعل من استنفاد جاوز هذا الحد المنخفض . فعلى الارتفاعات العالية جدا ، تجاوز الاستنفاد الحد الأهل الأكثر واقعية طبقاً لوكالة الحماية البيئية . وعلى ذلك ، فزعم أن تقديرات الأضرار هذه هي أفضل النتائج حالياً ، إلا أنه من المحتمل أن تكون على الجانب المنخفض (22) .

وعلى النطاق العالمي ، فإن حدوث سرطان الجلد بين القوقازيين يتزايد بالفعل ، ويرجع ذلك لحد كبير إلى مزاولة نشاط أكثر في الأماكن المكشوفة ( المعرضة لضوء الشمس ، إلا أنه من المتوقع أن يتزايد تزايداً مُتدبراً بالسوء في وجود الاشعاع فوق البنفسجي - ب أكثر . وفي الولايات المتحدة وحدها ، يُعْلَن عن نحو ٦٠٠ ٠٠٠ حالة جديدة للسرطان الحرشفي وسرطان الخلية القاعدية (squamous and basal cell carcinoma) ، وهما النوعان الأكثر شيوعاً من أنواع سرطان الجلد ، وإن كان من النادر أن يؤدي إلى الوفاة . وعلى المستوى العالمي ، فإن عدد الحالات يزداد على ذلك ثلاث مرات على الأقل . وهذا الحدوث يترابط ارتباطاً وثيقاً مع التعرض المتراكم للإشعاع فوق البنفسجي (23) .

وكل هبوط في الأوزون بنسبة واحد في المائة تنتج عنه تقديرياً حالات أكثر بنسبة ٤ - ٦ في المائة من هذين النوعين لسرطان الجلد . ومن المتوقع أن يتسبب استنفاد

الأوزون في حدوث ٣ ملايين إلى ١٥ مليون حالة جديدة للأمريكيين المولودين قبل عام ٢٠٧٥ ؛ ومن المرجح أن يموت نحو ٥٢٠٠٠ إلى ٢٥٢٠٠٠ من هؤلاء المرضى بسبب ذلك الداء . وأكثر المعرضين للخطر هم من الملونين السمر الذين يعيشون أقرب ما يمكن من خط الاستواء . كذلك فمن المعرضين للإصابة الأرجنتينيون والاستراليون والشيليون والنيوزيلنديون الذين يعيشون في مناطق يصل إليها الزمن الربيعي للثقب القطبي الجنوبي . ويتعاون أعضاء المؤسسة القومية للعلوم National Science Foundation في الولايات المتحدة مع زملائهم في الأرجنتين وشيل لقياس المقدار المتزايد من الأشعاع فوق البنفسجي الوارد (24) .

والميلانوما melanoma ، وهي نوع من سرطان الجلد أشد خطراً ، تهاجم بالفعل ٢٦٠٠٠ أمريكي سنوياً وتنتج عنها ٨٠٠٠ حالة وفاة . وتمثل الميلانوما ٤ في المائة فقط من جميع أنواع سرطان الجلد ، ولكنها مسئولة عن ٦٥ في المائة من جميع حالات الوفاة بسرطان الجلد . ورغم أن الرابطة بين الميلانوما ومستويات الأشعاع فوق البنفسجي - ب المتزايدة أقل وضوحاً ، فإن وكالة حماية البيئة تقدر أن استنفاد الأوزون سيؤدي إلى ٣١٠٠٠ حتى ١٢٦٠٠٠ حالة إضافية بين ذوى البشرة البيضاء في الولايات المتحدة المولودين قبل ٢٠٧٥ ، مما يستتج عنه من ٧٠٠٠ إلى ٣٠٠٠٠ وفاة إضافية (25) .

وحدوث الميلانوما ومعدل الوفيات يتزايدان بالفعل في جميع المناطق السكانية القوقازية التي وضعت تحت الدراسة . وفي استراليا ، زادت الوفيات بسبب الميلانوما إلى خمسة أضعاف على مدى السنوات الخمسين الماضية . وفي الولايات المتحدة ، زاد عدد الحالات بنسبة ٨٣ في المائة على مدى السنوات السبع الماضية . وفي دول أخرى ،



يتزايد الحدوث بنسبة ٣-٧ في المائة سنوياً . وتختلف الميلا نوما عن السرطان الحُرشفى وسرطان الحَلْبة القاعدية في أنها تبدو مقترنة بالتعرض الحاد للاشعاع ، كما في حالات حُرُوق الشمس القاسية (26) .

٢٣

ويناء على نفس التصورات ( السيناريو ) لوكالة حماية البيئة ، فإن من ٥٥٥٠٠٠ إلى ٢,٨ مليون أمريكي من المولودين قبل عام ٢٠٧٥ سيعانون من الكتلاركتا ، ممن لم يصابوا بها لأسباب أخرى . كذلك فإن الضحايا سيصابون في أوقات مبكرة من أعمارهم ، مما سيزيد من صعوبة العلاج . والكتلاركتا ، وهي إعتام يصيب عدسة العين فتُعشى البصر ، يمكن استئصالها بإجراء عملية بسيطة نسبياً ، ولكنها إذا تُركت دون معالجة فقد ينتج عنها العمى . وتجرى العملية الجراحية روتينياً في الدول الصناعية ، ولكن الضحايا في العالم النامى لن يكون في مقدورهم على الأرجح إجراء العملية أو تحمل تكاليفها (27) .

كذلك يمشى الأطباء الباحثون أن يقلل الاشعاع فوق البنفسجى - ب من نظام المناعة البشرية ، مما يخفف من مقاومة الجسم للكائنات الحية المجهرية المهاجمة ، ويجعله أقل قدرة على مكافحة الأورام ، وأكثر تعرضاً للأمراض المعدية ، مثل القُوباء herpes . وفي الدول النامية ، ونخاصة القرية منها من خط الاستواء ، وبالتالي تتعرض لمستويات أعلى من الاشعاع فوق البنفسجى - ب ، قد تصبح حالات العدوى الطُفيلية أكثر شيوعاً . بل وقد تقلل الاستجابة من فعالية بعض برامج التطعيم ، مثل التطعيم ضد الدفتريا والسل . وبدلاً من أن يَنمى جسم المريض استجابة مناعية ، فإنه قد يصاب بحالة مرضية تامة (28) .

وعلى خلاف سرطان الجلد ، الذى يؤثر غالباً على ذوى البشرة البيضاء ، فإن انخفاض الاستجابة المناعية قد يؤثر على كل شخص على الأرجح . والأشخاص الذين تكون قد انخفضت مناعتهم بالفعل ، مثل الذين يُعالجون بزرع الأعضاء أو المصابين بمرض الإيدز ، قد يكونون أكثر تعرضاً للخطر بسبب تأثيرات إضافية . ورغم أنه لم يمكن حتى الآن تقدير مدى انخفاض المناعة كميًا ، فإن هناك بعض الدلائل التى تشير إلى أنها قد تُستحث بجراحاتٍ من الإشعاع فوق البنفسجى أقل بكثير مما يلزم للإصابة بالسرطان . وقد يُعنى هذا أن الجرعات الأقل مما يلزم للإصابة بحروق الشمس يمكن أن تقلل من مقاومة الجسم للمرض . ولقد أجرت دراسة استرالية قياسات على التأثيرات المناعية فى آخذى الحملات الشمسية (29) .

كذلك تتأثر الأنظمة الحيوية ، الأرضية منها والمائية . فلقد أظهر الفحص الجهاى لأكثر من ٢٠٠ نوع مختلف من أنواع النباتات ، معظمها من المحاصيل ، أن ٧٠ فى المائة منها حساسة للإشعاع فوق البنفسجى - ب . وقد يتسبب التعرض الزائد للإشعاع فى تقليل التخليق الضوئى ، وكفاية استيعاب الماء ، والغلة الناتجة ، والمساحة الورقية للنبات . وفول الصويا ، وهو محصول غنى بالبروتين ، حساس بصفة خاصة . ولقد اكتشف آلان تيرامورا بجامعة ميريلاند ، أن عحاكة فقدان الأوزون بنسبة ٢٥ فى المائة أدى إلى خفض المحصول من نوع هام من أنواع فول الصويا إلى نسبة بلغت ٢٥ فى المائة . كذلك فإنه وجد أن حساسية النبات للإشعاع فوق البنفسجى - ب قد زادت مع زيادة مستوى الفسفور فى التربة ، مما يشير إلى أن المناطق الزراعية المخصبة ( المسمدة ) بشدة قد تكون أكثر المناطق تعرضاً للحساسية (30) .

ورغم أن النباتات يمكن تربيتها لإكسابها ميزات عديدة ، بها في ذلك لحمل الاشعاع فوق البنفسجى ، فإن الاستنفاد السريع للأوزون قد يكتسح مقدرتها على تطوير آليات وقائية . ونتيجة لذلك ، فإن تلك الأصناف الأكثر مقاومة للضوء فوق البنفسجى هي التي يمكنها أن تنمو وتزدهر ، وليس بالضرورة تلك التي لها أعظم قيمة اقتصادية أو محتوى مغذ . وحتى الآن ، لم يتم فحص سوى أربعة من الأنواع العشرة الرئيسية للأنظمة الحيوية الأرضية ؛ والغابات الاستوائية وأراضى المراعى والأراضى الرطبة ( مثل المستنقعات ) ، هي من بين المناطق التي لا تزال تنتظر الدراسة (31) .

والأنظمة الحيوية المائية هي التي قد يتهددها أعظم خطر على الإطلاق . والنباتات المائية المعلقة phytoplankton ، تلك الكائنات المجهرية أحادية الخلية والتي تشارك في عملية التخليق الضوئى أثناء انسياقها على سطح المحيط ، هي العمود الفقري في شبكة الغذاء البحرى . وحيث أنها تتطلب ضوء الشمس ، وهو عامل النمو المحدد في مناطق المحيطات الواقعة في خطوط العرض العالية ، فإنها لا يمكن أن تتفادى الاشعاع فوق البنفسجى القادم وبالتالي لا يمكن أن تستمر في النمو والازدهار . بيد إنها إذا ظلت عند سطح الماء ، فإن الدراسات توضح أن انخفاض الأوزون بنسبة ٢٥ في المائة يؤدي إلى تناقص إنتاجيتها بنحو ٣٥ في المائة (32) .

والدراسات التي أجريت على الدياتومات diatoms ، وهي طحالب مجهرية ، توضح حدوث انخفاضات في الكتلة الحيوية والبروتين والكلوروفيل عند مستويات للاشعاع فوق البنفسجى - ب تناظر انخفاضات الأوزون بنسبة ٥ - ١٥ في المائة .

والتدمير الملحوظ للنباتات المائية المعلقة ، وما يعقب ذلك من تحللها ، قد يزيد من مستويات ثاني أكسيد الكربون مما يعجل بتدفئة الجو (33) .

٢٦

والحيوانات العافية zooplankton ويرقانات أنواع عديدة هامة من الأسماك ستعرض لخطر مضاعف ، فهي أيضاً تعيش على سطح الماء وستكون النباتات العالقة ، وهي مصدرها الغذائي الوحيد ، أكثر ندرة . وتوضح الدراسات الأولية أن ضوء الشمس بالغ الأهمية لمرحلة النمو اليرقانية ، إلا أنه لا يوجد تكيف أو آلية تجعلها تستجيب للإشعاع فوق البنفسجي المتزايد . ولبعض أنواع المحار shellfish ، قد يتسبب تناقص الأوزون بنسبة ١٠ في المائة إلى زيادة تصل إلى ١٨ في المائة في عدد اليرقانات الشاذة . وتوضح دراسة إحصائية على سمك الأنشوجة anchovies أن ٨ في المائة من التعداد السنوي لليرقانات سيقتل مع تناقص الأوزون بنسبة ٩ في المائة (34) .

والتجمعات السمكية التجارية ، التي يتهدهدها بالفعل الحصاد المبالغ فيه ، قد تجد صعوبة في تعويض ما يحصد منها بسبب تأثيرات الإشعاع فوق البنفسجي - ب المتزايدة . والأمور الأكثر إقلاهاً للكثير من البيولوجيين البحريين هو الكيفية التي سيتغير بها تركيب الأنواع في بيئات المحيطات . وبما لا شك فيه أن بعض الأنواع ستكون أكثر تأثراً من غيرها بالإشعاع فوق البنفسجي المتزايد ، ومن المرجح أن تكون التغيرات مأساوية . والتعرض الناتج من فقدان الأوزون بنسبة ١٠ في المائة يناظر الانتقال ٣٠ درجة تجاه خط الاستواء - وهو ما يشبه الانتقال من مدينة نيويورك إلى كاراكاس في فنزويلا . وفي نهاية الأمر ، فإن أنظمة حيوية بأكملها قد تصبح غير مستقرة وأقل مرونة .

« أن التعرض الناتج عن فقدان الأوزون بنسبة ١٠ في المائة يناظر الانتقال ٣٠ درجة تجاه خط الاستواء - وهو ما يشبه الانتقال من مدينة نيويورك إلى كاراكاس في فنزويلا » .

كذلك فإن مستويات الاشعاع فوق البنفسجي - ب المتزايدة ستؤثر على المواد التخيلية . والدائن ( البلاستيك ) حساسة بصفة خاصة . وتقدر الدراسات التي أجرتها وكالة حماية البيئة أنه بدون غصبات ( أسمدة ) كيميائية إضافية ، فإن الأضرار المتركمة لبوليمر واحد فحسب ، وهو كلوريد البولي فينيل ، قد تصل إلى ٤,٧ بليون دولار مع حلول عام ٢٠٧٥ في الولايات المتحدة وحدها (35) .

والأوزون ، وهو نفس المادة التي تعمل بمثابة درع واق في الاستراتيجية ، يعتبر ملوثاً خطراً عند مستوى سطح الأرض . ومن الغريب أن تدمير الأوزون العلوي قد يزيد من مقدار الأوزون عند سطح الأرض . فمع وصول مزيد من الاشعاع فوق البنفسجي إلى الأرض ستسارع العملية الكيميائية الضوئية التي تنشئ الضباب الدخاني smog . وتوضح الدراسات أن الأوزون عند مستوى الأرض ، وهو المكون الرئيسي للضباب الدخاني ، يعوق نمو المحاصيل والأشجار ، ويحد من الرؤية ، ويعطل وظائف الرئة . أما نوعية هواء المدن ، وهي رديئة بالفعل في معظم مناطق العالم ، فستزداد سوءاً . وبالإضافة إلى ذلك فمن المتوقع أن يؤدي تناقص الأوزون الاستراتوسفيري إلى تزايد المقادير التروبوسفيرية من بيروكسيد الهيدروجين ، وهو مادة تشكل المطر الحمضي (36) .

ولقد قامت الوكالات الحكومية بالولايات المتحدة بإجراء غالبية البحوث التي تمت حتى الآن على تأثيرات الاشعاع فوق البنفسجي المتزايد . ولقد زيدت غصباتها السنوية لاستقصاء الأسئلة العديدة المتعلقة إلى نحو ١٥ - ٢٠ بليون دولار . ولدى ألمانيا ( الغربية ) برنامجها الخاص عن الاشعاع فوق البنفسجي - ب ، وتموله وزارة

البحث والتكنولوجيا ، ومن المنتظر أن يبدأ قريباً تنفيذ برامج مشتركة تحت رعاية المجموعة الأوروبية . وما يدعو إلى العجب ، أن أقوى الشكوك إنمّا تحيط بتأثيرات الأشعاع فوق البنفسجى - ب المتزايدة على النظام المناعى وعلى الحياة المائية والنباتية ، حيث يكمن أعظم الخطر على صحة البشر وعلى الموارد الغذائية (37) .

ورغم الشكوك العديدة المتعلقة بمقدار استنفاد الأوزون فى المستقبل ، ومستويات الأشعاع فوق البنفسجى - ب المتزايدة ، وتأثيراتها البيولوجية ، إلا أنه من الواضح أن المخاطر التى تهدد الأنظمة الحيوية ، المائية منها والأرضية ، هائلة . وبالحلابة الجوهرية لدراسات وكالة حماية البيئة هى أن « المكاسب التى تحقق من الحد من استعمال ك ف ك / هالون فى المستقبل تفوق بمراحل التكاليف المتزايدة التى تفرضها تلك التنظيمات على الاقتصاد » . وفى الولايات المتحدة وحدها ، تقدر القيمة الحالية للمزايا المكتسبة من التحكم فى الانبعاثات حتى عام ٢٠٧٥ بنحو ٦ تريليون دولار - أى ما يزيد ٢٤٠ ضعفاً على التكاليف (38) .

### المعائب الكيميائية وأوغاد الجو

الكلوروفلوروكربونات كيميائيات رائحة . فهى ليست سامة ولا قابلة للاشتعال عند مستوى الأرض ، كما برهن على ذلك مكتشفها توماس ميدجلى الصغير فى عام ١٩٣٠ حينما استنشق أبخرة من كأس يحتوى على سائل رائق منها ، ثم أطلق زفيره لإطفاء شمعة . وكانت صناعة التبريد محتاجة بالضبط إلى وسيط تبريد coolant مأمون وإنتاجه رخيص . وقامت شركة دى بون E.I. du Pont de Nemours & Company

« لقد ساعد توافر مركبات ك ف ك على إحداث  
كثير من التطورات الاجتماعية والتكنولوجية في  
العقود الحديثة ، جزئياً على الأقل » .

بتسويق المركب تحت الاسم التجاري الفريون Freon . ( يشار إليه في الاختصار  
الكيميائي بالرمز ك ف ك - ١٢ CFC-12 ) . وزاد الانتاج العالمي زيادة مذهلة ،  
حيث ارتفع من ٥٤٥ طن في عام ١٩٣١ إلى ٢٠٠٠٠ طن في عام ١٩٤٥ (39) .

٢٩

وتم اكتشاف استعمال آخر لهذا المركب الكيميائي بمثابة عامل نفخ في رغويات العزل  
الصلبة ، في أواخر الأربعينيات . وفي هذا الاستخدام ، يتم تبخير ك ف ك - ١٢  
إلى غاز يشكل فقاعات خفيفة الوزن ومغلقة الخلايا ، وتتميز بأنها موصلات ضعيفة  
لكل من الحرارة والبرودة . وقامت شركة دو كيميكال Dow Chemical بتطوير  
وتسويق الستايروفوم Styrofoam ، وهو أشهر هذه المنتجات . وتضاعف الانتاج  
الاجمالي من ك ف ك - ١٢ في السنوات الخمس بعد عام ١٩٤٥ (40) .

ومع الوقت ، تم اكتشاف صياغات كيميائية جديدة ، ولاح أن تنوع منتجات  
ك ف ك لانهائية تقريباً . واستعمل ك ف ك - ١١ وك ف ك - ١٢ في أول الأمر  
بمثابة داسرات للايروسولات aerosol propellants في أثناء الحرب العالمية الثانية  
لمكافحة الملايا . وفي ما بعد الحرب ، استخدمت هذه المواد في منتجات  
الايروسولات التي تراوحت من رشاشات الشعر ومزيلات الروائح إلى ورنيشات  
الأثاث . وفي أواخر الخمسينيات ، استعملت توليفة من عامل النفخ ك ف ك - ١٢  
وثاني أكسيد الكربون لصنع وسائل لينة للأثاث وبطانات السجاجيد ومقاعد  
السيارات .

ولقد ساعد توافر مركبات ك ف ك على إحداث كثير من التطورات الاجتماعية

والتكنولوجية في العقود الحديثة ، جزئياً على الأقل . ومكنت أجهزة التكيف الضخمة من بناء قاعات العرض المبردة وصالات الرياضة ومباني المكاتب الشاهقة وأماكن إقامة جديدة في الأجواء الحارة . وأدى تزويد السيارات بأجهزة تكيف الهواء ، المركبة حالياً في ٨٠ في المائة من السيارات المباعة في الولايات المتحدة ، إلى اتساع المجال على مستوى الأمة لقضاء العطلات الصيفية « على العجلات » . وتتاح حالياً أنواع صحية ولذيذة من أغذية الحمية ( الريجيم ) لأن ثلاثة أرباع المطاعم التي تؤكل في الولايات المتحدة إنها تبرد في مرحلة ما من سلسلة مراحل الانتاج والتوزيع . (41) .

وحتى ثورة الكمبيوتر قد ساعدتها مركبات ك ف ك . فمع تطور وتضائل حجم الجذاذات المجهرية microchips والمكونات الأخرى للأجهزة الالكترونية ، فإن الحاجة إلى إزالة أصغر الملوثات قد أصبحت بالغة الأهمية . ويستعمل ك ف ك - ١١٣ مديباً لإزالة الغراء والشحم ومتخلفات اللحم ، مما يجعل السطح نظيفاً وجافاً . ونتيجة لتنوع وتعدد مركبات ك ف ك ، فقد أصبحت تستعمل على المعادن واللدائن وفي تنظيف الأقمشة على الجلف . وك ف ك - ١١٣ هو أسرع الأعضاء نمواً وانتشاراً في عائلة ك ف ك ؛ والانتاج العالمي منه يتجاوز ١٦٠ ٠٠٠ طن سنوياً (42) .

وفي أعقاب أزمة الطاقة خلال السبعينيات ، بحث العملاء الصناعيون والتجاربيون والسكان عن طرق جديدة لخفض ما يدفعونه عن فواتير الكهرباء والتدفئة . وتزايد الطلب على مواد العزل المصنوعة من الرغويات الصلبة ، وبعض أنواعها منقوشة بزيادة ك ف ك - ١١ والبعض الآخر بزيادة ك ف ك - ١٢ . وفي عام ١٩٨٥ ، كانت



الرغويات الصلبة تستعمل بنسبة الثلثين من مواد العزل المركبة في المباني التجارية الجديدة بالولايات المتحدة ، ونسبة النصف منها في المنازل الجديدة المشيدة للأسرة الواحدة ، ونسبة الثلث في سوق إعادة عزل المساكن . وبإدر صانعو الأجهزة المنزلية كذلك بالعمل على زيادة كفاية استهلاك معداتهم للطاقة - وهو اشتراط يتطلبه الآن قانون الولايات المتحدة . وفي الوقت الحاضر ، تحتوى الجدران الرغوية لثلاجة منزلية من مادة ك ف ك على خمسة أمثال ( كيلوجرام واحد ) ما يستعمل منها وسيطاً للتبريد (43) .

وتقدر مجموعة نموها الصناعة الأمريكية أن القيمة السوقية لمركبات ك ف ك المنتجة في الولايات المتحدة تبلغ نحو ٧٥٠ مليون دولار سنوياً ، وقيمة السلع والخدمات التي تعتمد مباشرة على هذه الكيماويات بنحو ٢٨ بليون دولار ، وقيمة المنتجات والمعدات بنحو ١٣٥ بليون دولار . والمنتجات والسلع التي تعتمد على هذه الكيماويات لا حصر لها : فالولايات المتحدة وحدها لديها ٨٥ مليون ثلاجة منزلية و ٦٠ مليون جهاز لتكييف السيارات . وبالإضافة إلى ذلك ، تنتج سنوياً بلايين من حاويات التعبئة الرغوية لإبقاء الوجبات السريعة ساخنة ، ولحفظ البيض من الكسر ، ولعرض أنواع اللحوم بصورة جذابة (44) .

وفي جميع أنحاء العالم ، لا تزال الايروسولات هي المستعمل الأكبر لمركبات ك ف ك ، حيث تمثل ٢٥ في المائة من الإجمالي . ( انظر الجدول ٢ ) . وتأتي الرغويات الصلبة والمذيبات وهي أسرع مستعملات ك ف ك نمواً ، في المرتبة الثانية .

الجدول ٢ : الاستعمال العالمي لمركبات ك ف ك ، حسب الفئات ، ١٩٨٥

الاستعمال	الحصة من الاجمالي
	( في المائة )
الايروسولات	٢٥
الرضويات الصلبة لأغراض العزل	١٩
الملبيات	١٩
تكييف الهواء	١٢
وسائط التبريد	٨
الرضويات المرنة	٧
استعمالات أخرى	١٠

المصدر : Daniel F. Kohler et al., *Projections of Consumption of Products Using Chlorofluorocarbons in Developing Countries* (Santa Monica, California: Rand Corporation, 1987)

وفي عام ١٩٨٧ ، تعدى الانتاج العالمي من ك ف ك ( باستثناء الصين والاتحاد السوفيتي وأوروبا الشرقية ) الذروة المقدرة في عام ١٩٧٤ ، حيث بلغ قريباً من مليون طن . ويمثل إنتاج ك ف ك - ١١ وك ف ك - ١٢ معاً ما لا يقل عن ثلاثة أرباع هذا الاجمالي . ولا يقوم بإنتاج مركبات ك ف ك سوى ٢٤ شركة تقريباً ، ولكن بيانات الانتاج نادرة ولا يمكن الاعتماد عليها تماماً . وتدعى الشركات أن لها حق الاحتفاظ بمثل هذه الأرقام ، وأن إتاحة نشرها علناً قد يضر بالمصالح التنافسية للصانعين . وهذا النقص في المعلومات يجعل من الصعب تحليل وتنظيم أسواق مركبات ك ف ك (٤٥) .

الجدول ٣ : نصيب الفرد من استعمال ك ف ك - ١١ ، ك ف ك - ١٢ ،  
ك ف ك - ١١٣ ، ١٩٨٦

ك ف ك - ١١      ك ف ك - ١٢      ك ف ك - ١١٣      الاجمالي<sup>(١)</sup>

٣٣

(كجم / للفرد)

الولايات المتحدة	أوروبا	اليابان	
٠,٣٤	٠,٤٧	٠,٢٣	٠,٥٨
٠,٣١	٠,١٢	٠,٤٣	٠,٢٢
٠,٩٣			

(١) الصفوف ليست متباعدة بالجمع نظراً للتخصصات المهنية .

المصدر : U.S. Environmental Protection Agency, *Regulatory Impact Analysis: Protection of Stratospheric Ozone* (Washington, D.C., 1987).

ويمثل نصيب الفرد من الاستعمال الاجمالي لمركبات ك ف ك الثلاثة الأكثر انتشاراً أعلى معدلاته في الولايات المتحدة - ١,٢٢ كيلوجرام - ولكن أوروبا واليابان لا تتخلفان عنه كثيراً . ( انظر الجدول ٣ ) . وفي غالبية باقى العالم ، تقل معدلات الاستهلاك عن ذلك بكثير . ومن المحقق أن الأمريكيين يستعملون ستة أضعاف المتوسط العالمى . كذلك فإن أنماط الاستهلاك تتفاوت حسب المناطق : فالأوروبيون هم الأكثر استعمالاً للمادة ك ف ك - ١١ ، والأمريكيون لمادة ك ف ك - ١٢ ، واليابانيون لمادة ك ف ك - ١١٣ . ويرجع ذلك إلى أن الأيروسولات تمثل ٣٧ في المائة من الاستعمال الأوروبي لمركبات ك ف ك ، ويشكل تكييف الهواء النقل وطرق التبريد الأخرى ٣٩ في المائة من الاستعمال في الولايات المتحدة ، وتشكل المذيبات لصناعة الإلكترونيات ٣٩ في المائة من الاستعمال الياباني لمركبات ك ف ك (٤٦) .

## الجدول ٤ : استهلاك ك ف ك حسب المناطق ، ١٩٨٦

المنطقة	الحصة من الإجمالي
( في المائة )	
الولايات المتحدة	٢٩
دول صناعية أخرى <sup>(١)</sup>	٤١
الاتحاد السوفيتي وأوروبا الشرقية	١٤
دول نامية أخرى	١٤
الصين والهند	٢

(١) للجماعة الأوروبية تمثل أكثر من النصف ، يليها اليابان وكندا وأستراليا ودول أخرى .

المصادر : "The Ozone Treaty: A Triumph for All," *Update from State, May/June 1988*.

ومن ١٩٣١ وحتى نهاية ١٩٨٦ ، كانت الغالبية العظمى من الانتاج الإجمالي لمادتي ك ف ك - ١١ وك ف ك - ١٢ تباع لعملاء في نصف الكرة الأرضية الشمالي . وحيث أن الكيماويات الخام والسلع المصنوعة بمركبات ك ف ك والمحتوية عليها كانت تصدر حيثشذ ، إلى الدول النامية جزئياً ، فإن الاستعمال النهائي لم يكن غير متناسب . ومن المحقق أن العالم الثالث كان يمثل ١٦ في المائة من استهلاك ك ف ك العالمي في ١٩٨٦ . ( انظر الجدول ٤ ) . ومع تنامي التعدادات السكانية والدخول incomes وقواعد التصنيع في الدول النامية ، فمن المتوقع أن يتزايد هناك استعمال ك ف ك (47) .

وتختلف مركبات ك ف ك عن غالبية الكيماويات في أنها لا تنفثت في التروبوسفير .  
وبدلاً من ذلك ، فإنها تنساق إلى أعلى ببطء وتصل بعد ست إلى ثمانى سنوات إلى  
الاستراتوسفير . وما أن تصل هذه الكيماويات إلى هناك ، فمن الممكن أن تظل باقية  
إلى ما يقرب من ١٠٠ عام . وحينها تنفثت ، فإن كل ذرة كلور تتحرر تكون قادرة على  
تدمير عشرات الآلاف من جزيئات الأوزون قبل أن تبدد من الجو .

٣٥

كذلك فإن الهالونات تكون حاملة عند مستوى الأرض . وهى تحتوى على البروم ،  
الأكثر فعالية في تدمير الأوزون من الكلور ، كما أنها طويلة العمر في الجو . وتستعمل  
الهالونات في مكافحة الحرائق : فيستخدم الهالون ١٢١١ في أجهزة الإطفاء اليدوية  
والهالون ١٣٠١ في أنظمة الغمر التام المصممة للمناطق المحصورة التى توجد بها  
محتويات قيمة ، مثل غرف الحاسبات ، ومراكز التبادل ( السنترالات ) التليفونية ،  
والمتاحف ، وأقبية التخزين والایداع بالبنوك .

ولقد قام سلاح المهندسين الأمريكى بتطوير الهالونات في نهاية الحرب العالمية الثانية  
كوسيلة لمكافحة الحرائق في الدبابات وحاملات الجنود المدرعة . وحيث أنها غير سامة  
ويمكن استخدامها مباشرة على المعدات الحساسة دون إحداث تلف أو ترك  
متخلفات ، فإنها قد أصبحت المادة الكيميائية المفضلة لمكافحة الحرائق . ولقد زاد  
الطلب عليها أربعة أضعاف فيما بين عامى ١٩٧٣ و ١٩٨٤ ، ولا يزال يتنامى  
بمعدل ١٥ في المائة سنوياً (48) .

ورغم أن أحدث قياسات الأوزون تنلر بالخطر ، فإنها لا تعكس سوى الاستجابة

للغازات المحررة خلال أوائل الثمانينيات . أما الغازات المتصاعدة حالياً خلال طبقة الجو السفلى فسوف تستغرق ما يصل إلى ثمانى سنوات قبل أن تصل إلى الاستراتوسفير . كما لا يزال يوجد على الأرض مليون طن من المواد المحتوية على الكلور والبروم ، وهى منجسة فى رغويات العزل ، والأجهزة المنزلية ، ومعدات مكافحة الحرائق (49) .

ولقد تزايدت تركيزات الكلور فى طبقة الجو العليا من ٦ ، ١٠ إلى ٧ ، ٢ جزء فى البليون خلال السنوات الخمس والعشرين الماضية . وحتى إذا أخذنا بأكثر التصورات ( السيناريوهات ) التنظيمية تفاؤلاً ، فمن المتوقع أن تزيد إلى ثلاثة أضعاف مع حلول عام ٢٠٧٥ . ومن المنتظر أن تتنامى تركيزات البروم بسرعة أعلى بكثير - فتتزايد إلى عشرة أضعاف مستواها الحالى ، وهو جزء واحد فى التريليون ، رغم التجميد المتوقع للاستهلاك (50) .

ومركبات ك ف ك والمهالونات تدمر بخبث ويلا هواة درع الأوزون الواقى لكوكبنا الأرضى . وسوف تعاني سريعاً الأنظمة البيولوجية فى جميع أنحاء العالم من تأثيرات معادية . وبدون حظر تام وعاجل لانتاج ك ف ك والمهالونات ، فإن الخاسرين الحقيقيين سيكونون أبناء الأجيال القادمة الذين سيرثون بيئة مفقرة وسيستعجبون من حماقة أسلافهم .

#### تقليل الانبعاثات

فى ١٦ سبتمبر ١٩٨٧ ، بعد سنوات من المفاوضات الشاقة والساخنة وقعت ٢٤ دولة على بروتوكول مونتريال للمواد التى تستنفد طبقة الأوزون . ويتضمن مراحل تنفيذ

الاتفاقية تجميد إنتاج ك ف ك ( عند مستويات عام ١٩٨٦ ) بحلول عام ١٩٨٩ ،  
وتخفيض الانتاج بنسبة ٢٠ في المائة بحلول ١٩٩٣ ، وتخفيضه بنسبة ٣٠ في المائة  
أخرى بحلول ١٩٩٨ . وبحلول عام ١٩٩٢ ، يعرض إنتاج الهالون للتجميد عند  
مستويات عام ١٩٨٦ .

٣٧

ولكى يكون البروتوكول سارى المفعول فى التاريخ المستهدف ، وهونابر ١٩٨٩ ،  
يجب أن تصدق عليه ١١ دولة ، تمثل الثلثين على الأقل من استهلاك ك ف ك  
الدولى . ومع حلول منتصف نوفمبر ١٩٨٨ ، وافقت ١٤ دولة بالفصل على  
المعاهدة - وهى كندا ومصر واليابان وكينيا ولكسمبورج والمكسيك ونيوزيلندا ونيجيريا  
والنرويج والبرتغال والاتحاد السوفيتى والسويد وأوغندا والولايات المتحدة . ولكن  
اشتراط تخفيض الاستهلاك إلى الثلثين لن يتم الوفاء به ما لم تصدق المجموعة  
الأوروبية بأكملها على المعاهدة . وهى خطوة تعهدت المجموعة باتخاذها .

ولقد تركت وسائل إنجاز هذه التخفيضات إلى حصافة كل دولة على حدة .  
وتستجيب معظم الدول الموقعة لفرض حدود إنتاجية على صانعى الكيماويات . ورغم  
أن هذا الترجه يتمشى مع الخطوط الاسترشادية للمعاهدة ، فإنه يكفل فى الواقع أن  
يظل أعلى المزايدين قادرين على مواصلة استعمال مركبات ك ف ك . كما أنه يضع  
عبه تخفيض الانبعاثات على عدد لا حصر له من المستعملين الصناعيين للكيماويات  
وعلى مستهلكى المنتجات المنديجين معهم .

يستدعى التحرك بسرعة لحماية طبقة الأوزون توجهاً مختلفاً - وهو توجه يستهدف أكبر

مصادر الكيماويات الأكثر استفاداً للأوزون . ويتطلب إجراء ذلك معرفة مقدار ما يستعمل حالياً من كل مادة كيميائية ، ونمط انبعاثاتها ، والاستعمالات التي تدخل فيها . (انظر الجدول ٥) . وحينئذ فقط يمكن لكل دولة على حدة أن تجرى تقويمها للجدوى التقنية والاقتصادية عن الحد من الانبعاثات الصادرة من أسواق معينة .

ويمكن إنجاز التخفيضات الفورية في انبعاثات ك ف ك عن طريق حظر استعمال داسرات ك ف ك CFC propellants في الايروسولات وتلافي التبخر السريع للمبيدات التنظيف . ويمكن الحصول على توفيرات بسيطة عن طريق اقتناص عوامل النفيع المستعملة في تضخيم الرغويات المرننة ، وفي سد الترسبات في أجهزة التبريد وتكييف الهواء ، وفي استرجاع وسائط التبريد المستنزفة عند صيانة أو اصلاح أجهزة التبريد . وتتطلب التخفيضات طويلة الأجل استخدام طرق ناجعة للتخلص من النفايات الناقمة ، واستعمال كيماويات بديلة ، وتطوير تكنولوجيات لا تعتمد على المواد المستفدة للأوزون .

وحينما اتضح القلق على الأوزون في السبعينيات ، استجابت بعض حكومات الدول الصناعية . وحيث أن نسبة ٥٦ في المائة من إنتاج ك ف ك - ١١ وك ف ك - ١٢ معاً في عام ١٩٧٤ كانت تستعمل في الايروسولات ، فإن علب الرش كانت هدفاً واضحاً . وتحت ضغط جماهيري قوى ، قامت كندا والنرويج والسويد والولايات المتحدة بحظر استعمال داسرات ك ف ك في ٩٠ في المائة على الأقل من منتجاتها الايروسولية . وحقق التغيير مكاسب اقتصادية وبشيئة . فالهيدروكربونات ، وهي داسر propellant بديل ، أقل تكلفة من مركبات ك ف ك ، ووفرت لاقتصاد



الجدول ٥ : أنماط الاستعمال والانبعاثات للكيمياويات شائعة الاستعمال ، ١٩٨٥

المركب الكيميائي	الانبعاثات المعجم <sup>(١)</sup>	الاستخدامات	معدل النمو السنتي	نسبة الانقسام إلى الاستفاد <sup>(٢)</sup>
( ألف طن )	( بالسنتين )	( في المائة )	( في المائة )	( في المائة )
ك ف ك - ١٢	٤١٢	تكييف الهواء ، التبريد ، الايروسولات ، الرغويات	٥	٤٥
ك ف ك - ١١	٢٢٨	الرغويات ، الايروسولات ، التبريد	٥	٢٦
ك ف ك - ١١٣	١٣٨	لللبنيات	١٠	١٢
تتراكلوريد الكربون	٦٦	لللبنيات	١	٨
ميثيل الكلوروفورم	٢٧٤	لللبنيات	٧	٥
هالون - ١٣٠١	٣	أجهزة إطفاء الحرائق	غير معلن	٤
هالون - ١٢١١	٣	أجهزة إطفاء	٢٣	١
يدك ف ك - ٧٢	٧٢	التبريد ، الرغويات	١١	صفر

(١) الوقت محسوب على أساس اكتساح ٦٣ في المائة من المركب الكيميائي من الجو .  
(٢) الأجمالي لا يبلغ ١٠٠ بسبب تدوير الأرقام ( إلى أقرب عدد صحيح ) . إسهام يدك ف ك - ٢٢ مقرب إلى الصفر .  
المصادر : James K. Hammitt et al., "Future Emission Scenarios for Chemicals that May Deplete Stratospheric Ozone," *Nature*, December 24, 1987; U.S. Environmental Protection Agency, *Regulatory Impact Analysis: Protection of Stratospheric Ozone*, Volume II, Part I (Washington, D.C.: 1987); Douglas Cogan, *Stones in a Glass House: CFCs and Ozone Depletion* (Washington, D.C.: Investor Responsibility Research Center, 1988).

الولايات المتحدة ١٦٥ مليون دولار في عام ١٩٨٣ وحده . وتبينت المجموعة الأوروبية توجهاً مختلفاً . ففي عام ١٩٨٠ ، وافقت الدول الأعضاء على ألا تزيد من طاقتها المفرطة بالفعل لانتاج هذين المركبين من مركبات ك ف ك ، وطالبت بإجراء تخفيض نسبته ٣٠ في المائة من استعمالها في داسرات الايروسولات مع حلول عام ١٩٨٢ ( على أساس أرقام الاستهلاك لعام ١٩٧٦ ) ( 52 ) .

وتبلغ التخفيضات التراكمية في ك ف ك - ١١ وك ف ك - ١٢ ، نتيجة تقليل استعمالها في الايروسولات بالولايات المتحدة والمجموعة الأوروبية ، ٢ مليون طن و ٥٠١٠٠٠ طن على التوالي ، وهو ما يكفي الانتاج الحالي من ك ف ك - ١١ لمدة ست سنوات ، وسنة واحدة من إنتاج ك ف ك - ١٢ . وهذان الرقمان مبنيان على أساس افتراض أن استعمال ك ف ك في الايروسولات كان سيظل في ذروته لعام ١٩٧٤ بالولايات المتحدة وفي ذروته لعام ١٩٧٦ بدول المجموعة الأوروبية . ( 53 ) .

وعلى النطاق العالمي ، فإن علب الايروسولات لا تزال أكبر مصدر لانبعاثات ك ف ك ، حيث تسهم بنحو ٢٢٤٠٠٠ طن سنوياً - أى ما يوازي ٣٣ في المائة تقريباً من الانتاج العالمي للعدتي ك ف ك - ١١ وك ف ك - ١٢ معاً . والقلق المتزايد حول استنفاد الأوزون ، الذي تشعر به الحكومات والمستهلكون ، سوف يؤدي سريعاً إلى الحد من هذا الاستعمال . ونظراً لأن بعض الدول أخذت زمام المبادرة ، فمن المتاح حالياً وعلى نطاق واسع بدائل اقتصادية وهي أقل تكلفة في الغالب ( 54 ) .

ولقد فرضت الدانمرك حظراً على داسرات الايروسولات في عام ١٩٨٧ ، وأعلن حديثاً عن تخفيضات طوعية في هذه الصناعة بنسبة ٩٠ في المائة مع نهاية عام ١٩٨٩ في بلجيكا وهولندا وسويسرا والمملكة المتحدة واليابان ( الغربية ) . كذلك فإن الصناع البريطانيين والسويسريين سوف يلصقون بطبقات على سلعهم تعرف المستهلكين بأنها ٤١ غير معادية للأوزون . ولقد أعلن الاتحاد الأوروبي عن نواياه في التحول إلى داسرات الايروسولات الخالية من ك ف ك مع حلول عام ١٩٩٣ . وفرنسا واليابان ودول أوروبا الشرقية والعالم الثالث هي الدول المستهدفة التي لم تعلن بعد عن اتخاذ إجراءات للتحكم (55) .

ورغم التزايد السريع لانبعاثات ك ف ك - ١١٣ ، فإنها قد تكون من أيسر الانبعاثات التي يمكن التحكم فيها ومن أكثرها اقتصاداً . وهذه المادة الكيميائية لا تستعمل إلا في تنظيف المنتج النهائي ولا تدخل في تركيبه . وعلى ذلك فإن الانبعاثات تكاد تكون فورية ، ويتبع ثلاثة أرباعها من فقدان الأبخرة والباقي من التخلص من النفايات . وحظر الولايات المتحدة للتخلص من المذيبات المكلورة في الأراضي ، الذي أصبح نافذاً في نوفمبر ١٩٨٦ ، والتفكير في إصدار تنظيمات مماثلة في دول أخرى ، والتكلفة العالية لحرق ك ف ك - ١١٣ ( لأنه يحتوي على الفلور السام ) ، والقلق المتزايد عن استنفاد الأوزون ، كل هذه الأسباب قد أدت إلى خلق دوافع قوية لاسترجاع المذيبات وإعادة دورانها recycling (56) .

وحيث أن سعر ك ف ك - ١١٣ يبلغ ضعف سعر أى من مركبات ك ف ك الأخرى ، فإن المستثمرين في عمليات الاسترجاع recovery وإعادة الدوران

بحققون أرباحاً أسرع من غيرهم . وإعادة دوران ك ف ك - ١١٣ تمارس حالياً في الموقع لدى كثير من شركات الحاسبات الكبيرة . ولقد قام مصنع تابع لشركة IBM ، ويقع قريباً من شتوتجارت بألمانيا ( الغربية ) ، بتركيب وحدة لإعادة الدوران تسترجع من ٧٠ إلى ٩٠ في المائة من مذيبيات المصنع . ولقد حققت مؤسسة AT&T في الولايات المتحدة معدلات مماثلة . ويمكن لشركات الالكترونيات الأصغر حجماً ، والتي لا تعتبر إعادة الدوران في مصانعها اقتصادية ، أن تبيع مذيبياتها المستعملة إلى شركات إعادة الدوران التجارية أو إلى موزعي بعض شركات تصنيع الكيماويات (57) .

والتقدم السريع في تخفيضات الانبعاثات خلال العدة سنوات الماضية يدعو إلى التفاوض من حيث تحقيق توفيرات أكثر على المدى القصير . ويتوقع هيردوتوش جوتو ، مدير برنامج الحماية الاستراتيجية-سوفيرية في اليابان ، أن تحقق الشركات المستعملة للمذيبيات ك ف ك معدلات لإعادة الدوران تبلغ ٩٥ في المائة . ومثل هذه الشركات تمثل نحو ٤٠ في المائة من إجمالي الاستهلاك الياباني لمركبات ك ف ك (58) .

كذلك يمكن أن يتحقق اقتناص انبعاثات ك ف ك من تصنيع الرغويات المرننة بسرعة عالية نسبياً ، إلا أنه يتطلب استثماراً في شبكات تهوية جديدة . ( عند تصنيع الرغويات الصلبة ، فإن ٩٠ في المائة من عامل النفخ ك ف ك يظل منحبساً في الخلايا المغلقة للمنتج ) . وتؤدي أساليب الانتاج الحالية للرغويات المرننة إلى حدوث إطلاق تام وفوري لعامل النفخ في الجو . ولكن شبكات السحب ( الشفط ) الجديدة ، مقترنة مع تكنولوجيات امتزاز الكربون carbon adsorption ، يمكنها استعادة

ما بين ٤٠ إلى ٩٠ في المائة من مركبات ك ف ك المخرة (59) .

وتقتصر إحدى التكنولوجيات ، المطبقة في كل من الدانمرك والنرويج ، مركبات ك ف ك عند مرحلة النفخ وتسترجع من ٤٠ إلى ٤٥ في المائة من الانبعاثات الاجمالية . ٤٣ وهناك نظام أكثر شمولاً صممه شركة هيان للتطوير في المملكة المتحدة ، ويمكنه استرجاع ضعف تلك النسبة تقريباً . والأسلوب التقليدي هو إنضاج الرغويات المرنة في غرفة مكشوفة لمدة أيام مما يسمح لمركبات ك ف ك بالمهرب من المنتج . وفي أسلوب هيان ، ينخفض زمن الإنضاج curing time إلى ٤٠ دقيقة ويمر في حيز عصور . وهذا يسمح باقتناص مركبات ك ف ك بواسطة شبكة التهوية . وتسوق شركة يونيفوم Unifoam ، وهي شركة سويسرية ، نظاماً مماثلاً يمكنه استرجاع ٨٥ في المائة من عامل النفخ ، وهذه النسبة يمكن إعادة استعمالها بعد ذلك (60) .

وهناك مجال آخر يتيح توفيرات ملحوظة ، بتكلفة منخفضة ، هو إجراء تحسينات على قياسات التصميم والتشغيل والصيانة لمعدات التبريد وتكييف الهواء . وتمثل هذه الاستعمالات ٣٠ في المائة من استهلاك مادتي ك ف ك - ١١ وك ف ك - ١٢ معاً . وتقوم نقابات مهنية كبرى بوضع كودات للممارسة codes of practice للتحكم في تداول المعدات . ومن التوصيات الأساسية اشتراط تدريب العمال ، وقصر أعمال الصيانة والاصلاح على الأفراد المصرح لهم بذلك ، وتركيب شبكات للكشف عن التسريبات ، واستعمال مقادير أصغر من شحنات وسائط التبريد . وتشتري توصية أخرى ، وهي حظر تصريف وسائط التبريد إلى الجو مباشرة ، استعمال تكنولوجيات الاسترجاع وإعادة الدوران . ولقد وجدت الدراسة المتأني لسوق تكييف

هواء السيارات في الولايات المتحدة ، وهي أكبر مستعمل لمادة ك ف ك - ١٢ ، أن ٣٤ في المائة من الانبعاثات يمكن إرجاعها إلى التسيريات ، و ٤٨ في المائة منها تنجم أثناء خدمات إعادة الشحن والإصلاح ، ويحدث الباقي نتيجة الحوادث ، والتخلص من النفايات ، ومن عمليات التصنيع . ويمكن للمعدات المزودة بموانع أفضل للتسرب أن تخفض من الانبعاثات وأن تقلل الحاجة إلى صيانة أجهزة التكيف (61) .

وعند خدمة أجهزة تكيف السيارات ، فمن الممارسات القياسية الآن تصفية وسيط التبريد وتركه ليتبخر . ولقد تبينت شركات عديدة حماقة هذا الاجراء ، فقامت بتصميم أنظمة استرجاعية تسمى vampires ( الترجمة الحرفية : مصاصات الدماء ) . ويضخ وسيط التبريد من الضغوط ( الكمبيوتر ) ، ثم ينقى ، ويعاد حقنه في جهاز السيارة بواسطة معدات تكلف عدة آلاف من الدولارات . ولما كان وسيط التبريد يحتوى على ملوثات قليلة ، فإن ٩٥ في المائة منه يمكن إعادة استعماله . كذلك يمكن تخزين وسيط التبريد ونقله إلى جهاز مركزي لإعادة الدوران ، رغم أن هذا الاختيار البديل غير مؤكد النجاح (62) .

والأسواق المستخلمة لمعدات إعادة الدوران في الموقع تشمل شركات النقل العام وشركات تصنيع الطائرات والوكالات الحكومية ووكلاء بيع السيارات ومحطات الخدمة الكبيرة . وتقوم حالياً صناعة السيارات في الولايات المتحدة بتطوير قياسيات للجودة تطبق على عمليات الاسترجاع وإعادة الدوران ، ويجب أن يكون قد تم تركيب البنية الأساسية والمعدات مع حلول موسم تكيف الهواء لعام ١٩٨٩ . وإذا لم يكن إجراء عمليات إعادة الدوران على مستوى مرض في الصناعة ، فإن وكالة حماية

« لقد شرعت مدن عديدة بألمانيا ( الغربية )  
في تجميع الشلاجات المنزلية المخردة لمنع وصول  
مركبات ك ف ك إلى الجو » .

البيئة ستجعل الممارسة إجبارية (63) .

40 واسترجاع مركبات ك ف ك من السيارات والأجهزة الأخرى المخردة junked  
بعد سنوات من إنتاجها يتطلب إما نظاماً تجميعياً أو خطة مدعمة لتشجيع الاسترجاع  
بواسطة الشركات المتخصصة في هذا العمل . ولقد شرعت مدن عديدة بألمانيا  
( الغربية ) في تجميع الشلاجات المنزلية المخردة لإبقاء مركبات ك ف ك في وسط  
التبريد ، ولتقل رغويات العزل من الوصول إلى الجو . وسيعاد دوران وسائط التبريد ،  
كما ستحرق الرغويات في أفران تشغل عند درجات حرارة عالية . ورغم أن دولاً  
أخرى قليلة تفكر في هذا التوجه ، إلا أن معظمها لا يعتبرونه اقتصادياً إلا للوحدات  
التجارية والصناعية الكبيرة ، وليس للأحجام الصغيرة التي يمكن استرجاعها من  
الأجهزة المنزلية (64) .

وعلى المدى الأطول ، فإن حظر استعمال وانبعاثات مركبات ك ف ك سوف يتطلب  
تطوير بدائل كيميائية لا تلحق الضرر بطبقة الأوزون . والتحدى الحقيقي هو إيجاد  
بدائل تؤدي نفس الوظيفة بتكلفة معقولة ، ولا تتطلب إجراء تعديلات كبرى على  
المعدات ، وتكون غير سامة بالنسبة إلى العمال والمستهلكين ، ولا تكون خطيرة على  
البيئة .

ولقد طورت بتروفرم Petroferm ، وهي شركة صغيرة في ولاية فلوريدا ، مديلاً  
يسمى BioAct EC-7 . وهذه المادة الكيميائية مصنوعة من التربينات terpenes التي  
توجد في قشور ثمار الموالح ( مثل الليمون والبرتقال ) ، وهي قابلة للتحلل بيولوجياً

وغير سامة وغير أكالة . وأجرت مؤسسة AT&T اختبارات على BioAct EC-7 في ثلاثة من مصانعها ووجد أنه فعال وتنافسي اقتصادياً ، حتى لو أخذت في الاعتبار تكلفة إحلال معدات التنظيف . ويتوقع مؤسسة AT&T ، التي استعملت نحو ١٤٠٠ طن من ك ف ك - ١١٣ في عام ١٩٨٦ ، أن تستبدل بربع استعمالها لمركبات ك ف ك مادة BioAct EC-7 في غضون الستين القادمتين . ويقدر تحليل أجرى في خارج المؤسسة أن هذا المركب الجديد يمكن أن يكون بديلاً لنحو ٣٠ - ٥٥ في المائة من الاستعمال المتوقع لمادة ك ف ك - ١١٣ في صناعة الإلكترونيات بالولايات المتحدة (85) .

ويبدو أن شركتى دى بون والصناعات الكيميائية الامبراطورية (ICI) ، وهما أكبر منتجين لمركبات ك ف ك ، قد اقتنعتا بأن المادة الكيميائية البديلة للمركب ك ف ك - ١٢ في أجهزة تكييف الهواء والثلاجات هي المركبات HFC-134a الخالي من الكلور . ولقد أعلنت دى بون بالفعل عن خطط لبناء مصنع للإنتاج التجارى يكلف ٢٥ مليون دولار في كوريس كريستى Corpus Christi بولاية تكساس . وتقول الشركة أن الإنتاج السنوى سيتجاوز ١٠٠٠ طن ابتداء من عام ١٩٩٠ . وسيكون المصنع هو رابع مرفق تشييده الشركة لإنتاج HFC-134a ، والسابع في برنامج الشركة الشامل لتطوير بدائل لمركبات ك ف ك . ومن المرجح أن يباع البديل بسعر دولارين للكيلوجرام ، وهو نحو سبعة أمثال سعر ك ف ك - ١٢ (86) .

ويجرى العمل كذلك في تطوير عوامل نفخ كيميائية جديدة لإنتاج كل من الرغويات المرنة والصلبة . ولقد أعلنت شركة يونيون كرايد Union Carbide حديثاً أنها قد وجدت بديلاً كيميائياً لنفخ رغويات البوليبريثان الطرية المستعملة في تبطين الأثاث .



وطبقاً لما أعلنته الشركة ، فإن منتجها الجديد ألتراسل Ultracel متاح بالفعل تجارياً ويمكنه أن يفضي عن ٧٠ في المائة من مركبات ك ف ك المستخدمة في صناعة الرغويات المرنة . كذلك فقد أعلنت دو كيميكال Dow Chemical ، وهي شركة كبرى لتصنيع رغويات العزل الصلبة<sup>٤٧</sup> ، أنها ستوقف استعمال مركبات ك ف ك مع حلول عام ١٩٨٧ (67) .

ويراهن كثير من الشركات الكبرى لتصنيع الكيماويات على جدوى وفعالية المركبات HCFC-22, -123, -141b, -142b . فلرة الهيدرورجين المضافة تجعل احتمال استفاد هذه المركبات للأوزون لا يزيد على ٥ في المائة من استفادته بواسطة المركبات التي ستحل محلها . ومن الناحية الأخرى فإن أسعارها ستكون أعلى بثلاثة أو خمسة أضعاف أسعار تلك المركبات (68) .

وهناك تأخير رئيسي مقترن بالانتاج التجاري للمركبات الكيماوية الجديدة ، ويتمثل في الحاجة إلى إجراء اختبارات شاملة على سميتها ، وهي اختبارات تستمر لمدة خمس إلى سبع سنوات . وللتعجيل بهذا الاجراء فإن ١٤ من منتج ك ف ك ، من أوروبا واليابان وكوريا والولايات المتحدة ، قد قرروا أن تنضافر جهودهم في برنامج اختبارات مشترك يكلف عدة ملايين من الدولارات . و HFC-134a, HCFC-123 . هما المركبان الكيماويان اللذان تم اختيارهما لإجراء اختبارات طويلة المدى عليها . ولقد أثبت HCFC-22 نجاحه بالفعل . وسيتماسم الأعضاء النتائج ، فإذا كانت واعدة ، فإنها ستعرض على الوكالات التنظيمية للتعجيل بإجراءات الموافقة (69) .

ومن المتاح حالياً بعض بدائل لعوامل نفخ الرغويات ، ولقد كانت تستعمل بالفعل طوال عدة سنوات . وهذه البدائل تشمل كلوريد الميثيلين والبتان وثاني أكسيد الكربون . ورغم أنها لا تزال تعتبر بدائل ممكنة ، إلا أن كلا منها له عيوبه . فكلوريد الميثيلين مادة محدثة للسرطان ومن الصعب التخلص من نفاياتها ، والبتان شديد القابلية للاشتعال ويسهم في الصباب الدخاني الكيميائي الضوئي ، وتنتج عن ثاني أكسيد الكربون رغويات مرنة عالية الكثافة ورغويات صلبة لها خواص عزل ضعيفة (70) .

وفي بعض الحالات ، فإن تصميم منتجات جديدة قد يقلل من الحاجة إلى مركبات ك ف ك والكيماويات البديلة أو يغني عنها تماماً ويحقق في الوقت ذاته مكاسب إضافية . ففي السيارات ، على سبيل المثال ، يمكن لنوافذ التهوية الجانبية ، وزجاج النوافذ الذي يعطى امتصاص أشعة الشمس ، ونظم التهوية الشمسية الجديدة ، أن تقلل من الحاجة إلى التدفئة الداخلية ، وتخفيض أو تلغي الحاجة إلى تكييف الهواء ، وبالتالي توفر من الطاقة . ولقد طورت ثلاجات الهيليوم ، التي استعملت طويلاً في الأغراض الفضائية والعسكرية ، للاستخدام المدني في الشاحنات ( الثواري ) والمنازل . وستنتج قريباً شركة كرايوداينامكس Cryodynamics ، ومقرها في نيوجيرسي ، ٩ ملايين ثلاجة تبرد بالهيليوم في شققها في . وتستعمل هذه الوحدات طاقة تقل عن نصف ما تستعمله الأنظمة المألوفة . وفي اليابان ، تستعمل وسائل التبريد النشادرية في المباني التجارية ذات الكفاءة العالية في استهلاك الطاقة (71) .

وقد تستبدل في النهاية بمواد العزل المصنوعة من الرغويات الصلبة ، والمستعملة في

الثلاجات ووحدات التجميد ، طريقة العزل بالتفريغ vacuum insulation ، وهو الأسلوب المستعمل في قوارير الترامس thermos bottles . وتوضح الأبحاث التي أجريت في معهد بحوث الطاقة الشمسية بالولايات المتحدة أن الأطر المفرغة من الهواء vacuum panels تحتل حيزاً أقل من الرغويات وتجعل الأجهزة المنزلية أكثر كفاءة من ٤٩ حيث استعمال الطاقة (72) .

ويبدو أن انبعاثات المبالونات يسهل خفضها نسبياً ، رغم عدم وجود بدائل واعدة في الأفق القريب . ومعظم المبالونات المنتجة لا تستعمل على الإطلاق ، بل يكتفى بأن تكون متاحة في حالة الطوارئ . وفي الوقت الحاضر ، يجري اختبار الغمر بالمبالونات عند تركيبها لأول مرة بإطلاق كل الغاز في النظام . ويسهم اختبار التصريف discharge testing حالياً في انبعاثات أكثر مما تسهم به مكافحة الحرائق . وسيؤدي استعمال كيمويات بديلة أو إجراءات اختبارات أخرى توافق عليها صناعة التأمين وتمنع التصريفات العرضية إلى خفض الانبعاثات السنوية بنسبة الثلثين (73) .

وهناك مصدر كبير آخر لانبعاثات المبالونات ، هو تدريب مكافحي الحرائق . ولقد قررت السلطات العسكرية بالولايات المتحدة حديثاً ، في برنامج من أكبر البرامج في العالم ، استعمال المحاكيات simulators التي لا تتطلب إطلاقاً فعلياً للكميولويات . وتؤسس شركة ICI خدمة لإعادة دوران المبالون ١٢١١ ، وذلك حتى يمكن استرجاعه من الامدادات الملوثة وتلك التي قد يلزم التخلص منها (74) .

ويتفاوت تفاوتاً عظيماً التوجه الذي تتخذه الدول والصناعات لخفض انبعاثات

ك ف ك والمالونات . وعلى سبيل المثال ، تفكر بعض الشركات بالسويد في تطوير منتجات وأساليب بديلة كفرصة سانحة اقتصادية . وهي تتوخى فتح أسواق دولية جديدة في اقتصاد عالمي متغير . ومن الناحية الأخرى ، فإن المنتجين الرئيسيين للمواد الكيماوية في فرنسا واليابان والمملكة المتحدة وألمانيا ( الغربية ) كانت لهم نظرة تقليدية تتمثل في اعتبار وسائل التحكم في الانبعاثات بمثابة تهديد لتنافسيتهم الدولية . ولقد كانوا ينفرون من المضي في اتخاذ إجراءات تحكم من جانب واحد خشية فقدان حصتهم من الأسواق .

ولقد حان الوقت للتساؤل عما إذا كانت الوظائف التي تؤديها مركبات ك ف ك ضرورية في الواقع ، وإذا كان الأمر كذلك ، فهل من الممكن تأديتها بوسائل جديدة . وعلى سبيل المثال ، هل يلزم تنظيف كل جذاذات الحاسبات computer chips ؟ وبالنسبة لتلك التي يلزم تنظيفها ، هل تكفى المذيبات ذات الأساس المائي أو الكحول ؟ ولا يسمح جيش وبحرية الولايات المتحدة بتوجيه هذا السؤال . فهذا يشترطان تنظيف المكونات الالكترونية بمركبات ك ف ك ، وعلى ذلك فإنها لا يشجعان الشركات الصانعة على استكشاف البدائل (75) .

وإذا تم استخدام كل إجراءات التحكم التقنية المعروفة ، فمن الممكن خفض إجمالي الانبعاثات من ك ف ك ومن المالونات بنحو ٩٠ في المائة . وكثير من استراتيجيات التحكم هذه فعالة بالمقارنة بالتكلفة بالفعل ، وسيصبح المزيد منها فعالاً أيضاً حينها تؤدي التنظيمات واللوائح إلى رفع أسعار الكيماويات المستفدة للأوزون . والسرعة التي ستطبق بها وسائل التحكم هي التي ستحدد مدى استفاد الأوزون في السنوات

---

القادمة وحينها تبدأ مداواة طبقة الأوزون .

---

ما بعد مونتريال

٥١

إن إبرام معاهدة دولية تستهدف التخفيض النصفى لمادة كيميائية متسلطة وغير مرئية ، ويخشى أن تكون مسئولة عن تدمير درع غير مرئى ، أمر لم يسبق له مثيل . ويعتبر الإنجاز تكريماً لبرنامج البيئة التابع للأمم المتحدة والذي كان بمثابة رأس الحربة للجهود المبذولة والمفاوضين الحكوميين من جميع الدول ، وخاصة أولئك الأعضاء فيما يسمى مجموعة تورنتو الذين ظلوا يلحون على إصدار تنظيمات أكثر تشدداً ، وكثير من المؤسسات غير الحكومية والعلماء الذين جهدوا للحصول على تأييد صانعي القرارات السياسية والجمهور العام .

ولسوء الحظ ، ولأسباب عديدة ، فإن بروتوكول مونتريال لن ينقذ طبقة الأوزون . وأول هذه الأسباب أن كثيراً من وسائل الإقناع قد اقترحت لتحسين صورة المعاهدة في أعين الموقعين المأمولين . وهذه الوسائل شملت تمديد المواعيد النهائية للدول النامية وللانتماءات ذات التخطيط المركزى ، والسماح بتجاوزات لإعادة هيكلة الصناعة ، ووضع تعريفات فضفاضة للمنتجات التى يمكن تسويقها شرعياً على المستوى الدولى . ومعنى التأثير المتراكم لهذه الثغرات أنه حتى مع المشاركة على نطاق واسع الانتشار فإن هدف البروتوكول من تنصيف استعمال ك ف ك فى جميع أنحاء العالم مع حلول عام ١٩٩٨ لن يمكن الوفاء به . (76)

وثانياً ، فإن النتائج العلمية الحديثة توضح أن ما تم استفادته بالفعل من الأوزون يفوق ما افترضه المفاوضون أنه سيحدث في مائة عام . ولقد استخلص تقرير حديث أعدته وكالة حماية البيئة (EPA) أنه بحلول عام ٢٠٧٥ ، وحتى مع المشاركة العالمية بنسبة ١٠٠ في المائة في البروتوكول ، فإن تركيزات الكلور في الجو ستضعف ثلاث مرات . إن الاتفاقية لن توقف الاستنفاد ، وإنما ستبطئ من تسارعه (77) .

وثالثاً ، أن العديد من الكيماويات التي لم يشملها التنظيم وفقاً للمعاهدة يعتبر تهديدات رئيسية لطبقة الأوزون . فميثيل الكلوروفورم وتتراكلوريد الكربون أسهما معاً في نسبة ١٣ في المائة من إجمالي الأوزون المستنفد في عام ١٩٨٥ . ومع تناقص استعمال الكيماويات المتحكم فيها ، سيتنامى إسهام هذين المركبين غير المحكومين . وستعمل ميثيل الكلوروفورم مذيباً على نطاق واسع ، وخاصة في تنظيف المعادن . وتتراكلوريد الكربون ، رغم أنه يستعمل أساساً في تصنيع مركبات ك ف ك في الدول الصناعية الغربية ، إلا إنه لا يزال يستعمل مليداً في الدول الأوروبية الشرقية وفي الدول النامية . وتتجاوز الانبعاثات الحالية من ميثيل الكلوروفورم انبعاثات أى من مركبات ك ف ك . وإن عمره القصير في الجو ، وهو ثماني سنوات ، يجعله واحداً من الكيماويات القليلة التي سيؤدي التحكم فيها إلى الحصول على نتائج سريعة (78) .

والإقرار بأن التدفئة العالمية قد تكون بدأت بالفعل سيدعم المطالبة بإحداث تخفيضات تالية وسريعة في انبعاثات ك ف ك . وتسهم مركبات ك ف ك حالياً في ١٥ - ٢٠ في المائة من ظاهرة الصوبة ، وهي تمتص الأطوال الموجية للإشعاع فوق البنفسجي الذي قد تسمح غازات الصوبة الأخرى بهروبه . ومن المحقق أن جزيئاً

« أن الإقرار بأن التلثة العالمية قد

تكون بدأت بالفعل سيدعم المطالبة بإحداث تخفيضات

تالية وسريعة في انبعاثات ك ف ك » .

واحداً من أكثر مركبات ك ف ك استعمالاً تبلغ فعاليته في احتباس الحرارة ما يعادل  
فعالية ١٥٠٠٠ جزء من ثنائي أكسيد الكربون ، وهو أكثر غازات الصوبة وفرة .  
وحيث أنه لا يوجد سوى نحو عشرين شركة منتجة للكيمياويات ، فإن مركبات  
ك ف ك هي أسهل غازات الصوبة التي يمكن التحكم فيها . ومنع انبعاثات ك ف ك  
هو الوسيلة الوحيدة لإحداث خفض سريع في معدل ارتفاع درجات الحرارة (79) .

٥٣

وفي ضوء هذه النتائج العلمية ، فإن الشيء المنطقي هو أن تقوم الدول جميعاً بالخطر  
الفصل لانبعاثات ك ف ك والمحالونات في أسرع وقت ممكن . كذلك فإن انبعاثات  
المركبات الأخرى المحتوية على الكلور والبروم ، والتي لا تغطيها حالياً المعاهدة ،  
يلزم التحكم فيها بل وإيقافها تماماً في بعض الحالات . وطبقاً لتحليلات وكالة حماية  
البيئة (EPA) ، فإن ٤٥ في المائة من التنامي المتوقع للكلور في الاستراتوسفير مع حلول  
عام ٢٠٧٥ سوف ينشأ من الاستعمال المسموح به للمركبات المتحكم فيها ، و ٤٠ في  
المائة سيأتي من الكيمياويات المحتوية على الكلور وغير المسترجعة ، و ١٥ في المائة من  
الانبعاثات الصادرة من دول غير مشاركة (80) .

وتوقيت الخطر أمر بالغ الأهمية . ولقد قام المحللون في وكالة حماية البيئة بفحص  
تأثيرات خطر ك ف ك بنسبة ١٠٠ في المائة مع حلول عام ١٩٩٠ ، وحظره بنسبة ٩٥  
في المائة مع حلول عام ١٩٩٨ . وسوف تتفاوت تركيزات الكلور الذرية بمقدار  
٨,٠ جزءاً في البليون ، أي قريباً من ثلث المستويات الحالية . وفي حالة الخطر  
الأبطأ ، فإن الكسح الجوي سيمتد امتداداً ملحوظاً ، وستظل مستويات الكلور أعلى  
من الذروة المرتبطة بالبرنامج الزمني المعجل لمدة ٥٠ عاماً على الأقل (81) .

وكما سبق أن لاحظنا ، فإنه من الممكن تقنياً خفض انبعاثات ك ف ك والهالونات بنسبة ٩٠ في المائة على الأقل . والتحدى الحقيقي هو أن تكرر الحكومات إرادتها السياسية للإقدام على ذلك .



والسويد هي أول دولة تتحرك إلى ما هو أبعد من مجرد التصديق على حظر نظري . ففي يونيو ١٩٨٨ ، وافق البرلمان ، بعد مناقشات مستفيضة مع الصناعة ، على تشريع يشتمل على توقيات نهائية محددة لحظر استعمال مركبات ك ف ك في المنتجات الجديدة . فالاستهلاك يجب أن ينخفض إلى النصف مع حلول عام ١٩٩١ ، وأن يمنع تماماً مع حلول عام ١٩٩٥ . ويجب حظر الاستعمال في التعقيم واستعمال الكمية الصغيرة المتبقية في الايروسولات مع نهاية عام ١٩٨٨ . ويجب أن يوقف الاستعمال في مواد التغليف والتعبئة بعد ذلك بعام . ويجب أن يتوقف إنتاج مركبات ك ف ك المستعملة كمذيبات هندسية ولنفع رغويات البوليستيرين المرنة والمبشوقة مع حلول عام ١٩٩١ . ويجب إيقاف الاستعمالات في القوالب بالنفخ blow molding للرغويات الصلبة ، وفي التنظيف على الجاف ، وفي وسائط التبريد ، مع نهاية ١٩٩٤ كآخر موعد . ويحظر تحت أى الظروف أن تستبدل بمركبات ك ف ك كيمائيات أخرى تهدد بأخطار بيئية أو صحية (82) .

وإذا اتضح أنه من الممكن إيقاف أى من هذه الاستعمالات في مواعيد أقرب من تلك المنصوص عليها ، فعلل الصناعات السويدية أن تفعل ذلك . وفي غضون تلك الفترات ، تخطط الحكومة السويدية لتقديم حوافز ودعم مالى لبحوث وتطويرات تكنولوجيات الاسترجاع وإعادة الدوران والمنتجات البديلة والوسائل الكفيلة لمنع



مركبات ك ف ك المستبعدة من الوصول إلى الجو . وهذا الإجراء الأخير يتضمن أنظمة التجميع لوسائط التبريد وتكنولوجيات حرق الرغويات الصلبة . والسويد مسئولة حالياً عن أقل من واحد في المائة من الاستعمال العالمي لمركبات ك ف ك ، وعلى أية حال ، فإن توجيهها يجب أن تتبناه دول أخرى عديدة قبل أن يتحقق تخفيض ملحوظ في الانبعاثات على النطاق العالمي (83) .

ولقد بدأ تأييد على نطاق أوسع لمفهوم الخطر في الظهور على أثر نشر تقرير هيئة اتجاهات الأوزون التابعة لمؤسسة ناسا . وكانت دي بونت ، وهي أكبر مصنع لمركبات ك ف ك في العالم ، أول شركة تلتزم بإيقاف كل إنتاجها من مركبات ك ف ك مع حلول عام ٢٠٠٠ . ومرعان ما أقرت شركات أخرى ، مثل Pennwalt, ICI, Allied Signal ، خطأ مماثلة ، ولكن معظمها فشل في وضع جدول زمني لإيقاف إنتاج تلك الكيماويات (84) .

وكانت الصناعات التي تستعمل مركبات ك ف ك في صنع منتجات استهلاكية هي الأبسط في الاستجابة . وكان منتجوا الأيروسولات ومستعملو مواد التغليف الرغوية ، الذين يستطيعون الحصول على بدائل والذين كانوا قد تعرضوا لضغوط من المستهلكين ، هم الأكثر استعداداً للاستغناء عن مركبات ك ف ك . ومن الناحية الأخرى ، أحجم صانعو أجهزة التبريد وتكييف الهواء عن الخوض في إجراءات تعديلات مكلفة على المعدات والعدد . وبالنسبة لهم ، فإن مركبات ك ف ك تمثل نسبة مئوية ضئيلة جداً من تكاليف الإنتاج ، ويبدو أنهم مستعدون لدفع السعر الأعلى الذي يتطلبه استعمال البدائل والكيماويات المصريح بها . ولسوء الحظ ، فإن

واحداً من أكثر استعمالات مركبات ك ف ك تحقيقاً للمكاسب - وهو استعمالها في إنتاج رغويات العزل الموفرة للطاقة - قد تباع بأسعار باهظة في السوق .

●٩ ولقد أقرت الوكالات البيئية في المملكة المتحدة والولايات المتحدة وألمانيا ( الغربية ) إجراء تخفيضات في الانبعاثات لا تقل عن ٨٥ في المائة . وهذا يمثل تحولاً ملحوظاً في المملكة المتحدة وألمانيا ( الغربية ) ، واستثنافاً لسياسة طويلة الأجل في الولايات المتحدة . ويمثل متجور الكيماويات في هذه الدول الثلاث ما يزيد على نصف الانتاج العالمى من المواد المتحكم فيها . ونظراً لمكانة هذه الحكومات الراسخة في الدوائر الاقتصادية والدبلوماسية الدولية ، فإن لديها الفعاليات القوية للتأثير على الدول الأكثر تمرداً (85) .

وفرض ضريبة على المنتجات الجديدة من مركبات ك ف ك ومواد استنفاد الأوزون الأخرى هو إحدى الوسائل التى تمكن الحكومات من خفض الانبعاثات والتعجيل بتبنى كيماويات وتكنولوجيا جديدة . وإذا زادت الضريبة زيادة تتمشى مع تخفيضات الانتاج الاجبارية ، فإنها ستلقى المكاسب المفاجئة وغير المتوقعة للمتججين ، وتشجع الاسترجاع وإعادة الدوران ، وتحث على استعمال كيماويات جديدة ، ويهىء مصدراً لتمويل التكنولوجيا الجديدة والأبحاث المطلوبة . وتشجيع الاستهلاوات فى شبكات إعادة الدوران ، وفى أفران حرق الرغويات الصلبة ، وفى أنظمة تجميع الكيماويات التى لا مفر من استبعادها ، لا شك أنها ستخفض بصورة ملحوظة الانبعاثات من المنتجات الحالية ، ومن أشغال الخدمة والصيانة ، ومن العمليات الانتاجية الجديدة (86) .

« لقد أقرت الوكالات البيئية في  
المملكة المتحدة والولايات المتحدة  
وألمانيا ( الغربية ) إجراء تخفيضات في  
الانبعاثات لا تقل عن ٨٥ في المائة » .

ورغم أن منتجى الكيماويات ينفقون نحو ١٠٠ مليون دولار سنوياً لتطوير بدائل  
كيميائية مأمونة ، فإنهم لا يتحمسون لتصميمات المنتجات البديلة التي ستناقصهم في  
الأسواق . والبحوث التي تجري على أساليب التبريد وتكييف الهواء والعزل  
الجديدة ، هي الأجلر بالدعم الحكومي . وحظر استعمال مركبات ك ف لك في هذه  
٥٧ التطبيقات سيؤدي إلى حماية طبقة الأوزون وتأخير ظاهرة الصوبة - مباشرة عن طريق  
خفض انبعاثات ك ف ك وبصورة غير مباشرة عن طريق تشجيع تكنولوجيات أكثر  
توفيراً للطاقة وتقليل من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون . وما يبعث على السخرية  
تكييف هواء السيارات والمكاتب والمصانع بمعدات تشغل بأنواع من الوقود ، وتعتمد  
على كيماويات ، تدفئ الكرة الأرضية . ول سوء الحظ ، فإن التمويل الدولي لتطوير  
مثل هذه التكنولوجيات يقل حالياً في مجموعه عن ٥ ملايين دولار (87) .

وكما سبق أن ذكرنا في سياق بروتوكول مونتريال ، فإن نتائج هذه البحوث ، علاوة على  
التكنولوجيات والأساليب الجديدة ، يجب أن تشارك فيها الدول النامية . فلا شك أن  
استنفاد الأوزون وتدفئة الطقس عالميان في تأثيرهما . وعدم المشاركة في المعلومات  
المتعلقة بأحدث التطويرات يشبه رفضك أن تجرب سائق سيارة توشك أن تصدمك عن  
مكان وجود الغرامل . كما أنه يكفل استمرار حدوث الأضرار البيئية ومواصلة استعمال  
معدات عتيقة لسنوات قادمة ، مما يزيد من تدهور القاعدة التكنولوجية للعالم  
الثالث .

والدول النامية جزء هام من استراتيجية التحكم ، نظراً لتعداداتها السكانية الكبيرة  
والمتنامية واستعمالاتها المتزايدة بسرعة لمركبات ك ف ك . ومن الدول النامية الأساسية

البرازيل والصين والهند واندونيسيا وكوريا الجنوبية . ففي الصين ، على سبيل المثال ، نجد أن أسرة واحدة فقط من كل عشر أسر تملك الآن ثلاجة ، ولكن الحكومة تأمل في أن يحتوى كل مطبخ على واحدة منها مع حلول عام ٢٠٠٠ . وكوريا الجنوبية والبرازيل تلعبان الآن دوراً رئيسياً وسريعاً في السوق العالمية للسيارات (88) .

وبناء على بروتوكول مونتريال ، هناك برنامج زمنى لإجراء تقويم علمى لاستنفاد الأوزون الحالى يستغرق الفترة من أبريل إلى أغسطس ١٩٨٩ . وفى هذا فى أبريل ١٩٩٠ عقد أجتاع للمفاوضين المشاركين فى المعاهدة لمناقشة النتائج ولاتخاذ قرارات بالاجراءات التالية اللازمة . ونظراً للتطورات الحديثة ، فإن دكتور مصطفى طلبة ، المدير التنفيذى لبرنامج البيئة فى الأمم المتحدة ، كما أنه محرك أساسى وراء المعاهدة ، يتلقى التماسات واسعة النطاق للتعميل بالاجراء ، وهو شخصياً يجذب ذلك . ولقد سبق له أن تعهد بإعادة فتح ملف الاتفاقية إذا اتضح أن الثقب فوق المنطقة القطبية الجنوبية كان سببه مركبات ك ف ك . ويبدو أن المملكة المتحدة والولايات المتحدة وألمانيا ( الغربية ) ، ولعل اليابان والاتحاد السوفيتى كذلك ، على استعداد لاتخاذ إجراءات أسرع . وفرنسا هى الدولة المنتجة الرئيسية الوحيدة التى لا تزال متناقلة (89) .

والأسس العلمية لاستنفاد الأوزون وتغير الطقس معروفة ، وهناك اتفاق واسع النطاق على أن كليهما قد بدأ بالفعل . ورغم أن النماذج الحالية للتغير الذى سيحدث فى المستقبل تتفاوت فى تنبؤاتها ، إلا أن البراهين واضحة بما يكفى لتبريد الاستجابة الفورية . ونظراً لضياغ وقت ثمين حينها تراخت الحكومات والصناعات فى بذل

---

جهودها التنظيمية والبحثية خلال أوائل الثمانينيات ، فإن الحاجة ملحة الآن إلى برنامج  
حاسم . فالصحة البشرية والموارد الغذائية والطقس العالمى تعتمد جميعاً اعتماداً محورياً  
على الدعم الذى يمكن اكتسابه لوضع نهاية لانبعاثات الكلور والبروم .



٦١

1. Joseph C. Farman et al., "Large Losses of Total Ozone in Antarctica Reveal Seasonal ClO<sub>x</sub>/NO<sub>x</sub> Interaction," *Nature*, May 16, 1985; Paul Brodeur, "Annals of Chemistry: In the Face of Doubt," *New Yorker*, June 9, 1986.
2. Subcommittee on Environmental Protection and Subcommittee on Hazardous Wastes and Toxic Substances, *Implications of the Findings of the Expedition to Investigate the Ozone Hole over the Antarctic*, Committee on Environment and Public Works, U.S. Senate, October 27, 1987.
3. National Aeronautics and Space Administration (NASA), "Executive Summary of the Ozone Trends Panel," Washington, D.C., March 15, 1988.
4. United Nations Environment Program (UNEP), "Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer," 1987; country updates from United Nations (UN) Treaty Office, New York; Office of Technology Assessment (OTA), U.S. Congress, "An Analysis of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer," Washington, D.C., December 10, 1987 (rev. February 1, 1988); NASA, "Ozone Trends"; John S. Hoffman and Michael J. Gibbs, *Future Concentrations of Stratospheric Chlorine and Bromine* (Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1988).
5. James E. Hansen, NASA Goddard Institute for Space Studies, Testimony before the Committee on Energy and Natural Resources, U.S. Senate, June 23, 1988; Linda J. Fisher, EPA, Testimony before the Subcommittee on Energy and Power, Committee on Energy and Commerce, U.S. House of Representatives, September 22, 1988; T.M.L. Wigley, "Future CFC Concentrations under the Montreal Protocol and Their Greenhouse-effect Implications," *Nature*, September 22, 1988.
6. Farman et al., "Large Losses"; Mario Molina and F. Sherwood Rowland, "Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes: Chlorine Atom Catalyzed Destruction of Ozone," *Nature*, June 28, 1974.
7. Douglas G. Cogan, *Stones in a Glass House: CFCs and Ozone Depletion* (Washington, D.C.: Investor Responsibility Research Center, 1988); Richard S. Stolarski, "The Antarctic Ozone Hole," *Scientific American*, January 1988.
8. Susan Solomon, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), interview on "The Hole in the Sky," NOVA, WGBH-Boston, February 24, 1987.
9. Stolarski, "The Antarctic Ozone Hole"; "Airborne Antarctic Ozone Experiment," NASA, Washington, D.C., July 1987; Shirley Christian, "Pilots Fly over the Pole into the Heart of Ozone Mystery," *New York Times*, September 22, 1987.

---

10. Mario J. Molina et al., "Antarctic Stratospheric Chemistry of Chlorine Nitrate, Hydrogen Chloride, and Ice: Release of Active Chlorine," *Science*, November 27, 1987; Mario Molina, "The Antarctic Ozone Hole," *Oceanus*, Summer 1988; F. Sherwood Rowland, University of California at Irvine, Testimony before the Committee on Environment and Public Works, U.S. Senate, September 14, 1988.

11. James G. Anderson, Harvard University, Testimony before the Environmental Protection and the Hazardous Wastes and Toxic Substances Subcommittees, Committee on Environment and Public Works, U.S. Senate, October 27, 1987.

12. Molina, "The Antarctic Ozone Hole"; NASA, "Ozone Trends."

13. Michael McElroy, "The Challenge of Global Change," *New Scientist*, July 15, 1988; Donald R. Blake and F. Sherwood Rowland, "Continuing Worldwide Increase in Tropospheric Methane, 1978 to 1987," *Nature*, March 4, 1988.

14. Pamela S. Zurer, "Studies on Ozone Destruction Expand Beyond Antarctic," *Chemical and Engineering News*, May 30, 1988.

15. Ibid.; Malcolm W. Browne, "New Ozone Threat: Scientists Fear Layer is Eroding at North Pole," *New York Times*, October 11, 1988.

16. Zurer, "Studies on Ozone Destruction"; Molina, "The Antarctic Ozone Hole"; John Gribben, "Satellite Failure Threatens Ozone Probe," *New Scientist*, July 14, 1988.

17. Rowland, Testimony; R. Monastersky, "Arctic Ozone: Signs of Chemical Destruction," *Science News*, June 11, 1988; Robert T. Watson, NASA, Testimony before the Environmental Protection and the Hazardous Wastes and Toxic Substances Subcommittees, Committee on Environment and Public Works, U.S. Senate, October 27, 1987.

18. NASA, "Ozone Trends."

19. Ibid.; McElroy, "Challenge of Global Change."

20. Robert T. Watson, "Present State of Knowledge of the Ozone Layer," presented to The Changing Atmosphere: Implications for Global Security, Toronto, June 27-30, 1988; Rowland, Testimony.

21. James Gleik, "Even with Action Today, Ozone Loss Will Increase," *New York Times*, March 20, 1988.



22. NASA, "Ozone Trends"; EPA, *Regulatory Impact Analysis: Protection of Stratospheric Ozone*, Vol. I (Washington, D.C.: 1987).
23. J.C. van der Leun, "Health Effects of Ultraviolet Radiation," draft report to the UNEP Coordinating Committee on the Ozone Layer, Effects of Stratospheric Modification and Climate Change, Bilthoven, Netherlands, November 19-21, 1986 (hereinafter cited as UNEP Coordinating Committee).
24. Ibid.; Paul Strickland et al., "Sunlight, Ozone, and Skin Cancer," *Health & Environment Digest*, May 1988; "Effects of Ozone Layer Modification," UNEP Coordinating Committee; EPA, *Regulatory Impact Analysis*; Polly Penhale, National Science Foundation, Washington, D.C., private communication, September 28, 1988.
25. National Cancer Institute, *1987 Annual Cancer Statistics Review: Including Cancer Trends: 1950-1985* (Bethesda, Maryland: National Institutes of Health, 1987); Arjun Makhijari et al., *Saving Our Skins: Technical Potential and Policies for the Elimination of Ozone Depleting Chlorine Compounds* (Washington, D.C.: Environmental Policy Institute/Institute for Energy and Environmental Research, 1988); EPA, *Regulatory Impact Analysis*.
26. Robin Russell Jones, "Ozone Depletion and Cancer Risk," *Lancet*, August 22, 1987; Janice Longstreth, "Health Effects Associated with Stratospheric Ozone Depletion," in *The Sky is the Limit*, Dr. Karola Taschner, editor, (Brussels: European Environmental Bureau, 1987); Darrel Rigel, New York University Medical Center, Testimony before the Subcommittee on Health and the Environment, Committee on Energy and Commerce, U.S. House of Representatives, March 9, 1987.
27. EPA, *Regulatory Impact Analysis*.
28. Margaret Kripke, M.D., Anderson Hospital and Tumor Institute, Testimony before the Environmental Protection and the Hazardous Wastes and Toxic Substances Subcommittees, Committee on Environment and Public Works, U.S. Senate, May 12-14, 1987; EPA, *Regulatory Impact Analysis*; Janice Longstreth, ICF Inc., Washington, D.C., private communication, September 28, 1988.
29. EPA, *Regulatory Impact Analysis*; Longstreth, private communication; "Chlorofluorocarbons: A Valuable Chemical Threatens the Atmosphere," *Health & Environment Digest*, May 1988.
30. "Risks to Crops and Terrestrial Ecosystems From Enhanced UV-B Radiation," draft report to the UNEP Coordinating Committee; Alan Teramura, "The Potential Consequences of Ozone Depletion Upon Global Agriculture," in J. Titus, ed., *Effects of Changes in Stratospheric Ozone and Global Climate*

---

(Washington, D.C.: EPA, 1986); Alan H. Teramura and N.S. Murali, "Intraspecific Differences in Growth and Yield of Soybean Exposed to Ultraviolet-B Radiation Under Greenhouse and Field Conditions," *Environmental and Experimental Botany*, Vol. 26, No. 1, 1986.

31. James Falco, director, Office of Environmental Processes and Effects Research, EPA, Testimony before the Subcommittee on Natural Resources, Agriculture Research and Environment, Committee on Science, Space and Technology, U.S. House of Representatives, March 10 and 12, 1987.

78

32. Robert C. Worrest, "What Are the Effects of UV-B Radiation on Marine Organisms?" Testimony before the West German Bundestag, Commission on Preventive Measures to Protect the Earth's Atmosphere, April 27, 1988.

33. Robert C. Worrest, "Solar Ultraviolet-B Radiation Effects on Aquatic Organisms," draft report to the UNEP Coordinating Committee; "Dinosaurs Doomed by a Dearth of Plankton," *New Scientist*, March 17, 1988.

34. Worrest, "Solar Ultraviolet-B Radiation Effects."

35. Office of Air and Radiation, *Assessing the Risks of Trace Gases that Can Modify the Stratosphere* (Washington, D.C.: EPA, 1987).

36. Philip Shabecoff, "Ozone Pollution is Found at Peak in Summer Heat," *New York Times*, July 31, 1988; Harold Dovland, "Monitoring European Transboundary Air Pollution," *Environment*, December 1987; EPA, *Regulatory Impact Analysis*.

37. Private communications with officials at EPA, National Science Foundation, U.S. Department of Agriculture, and National Institutes of Health; Hartmut Keune, Ecological Research Division, West German Ministry for Research and Technology, Bonn, private communication, June 28, 1988.

38. EPA, *Regulatory Impact Analysis*.

39. Cogan, *Stones in a Glass House*.

40. Chemical Manufacturers Association (CMA), "Production, Sales, and Calculated Release of CFC-11 and CFC-12 Through 1986," Washington, D.C., November 18, 1987.

41. Michael Weisskopf, "CFCs: Rise and Fall of Chemical 'Miracle'," *Washington Post*, April 10, 1988; EPA, Addenda to *Regulatory Impact Analysis; The Montreal Protocol: A Briefing Book* (Rosslyn, Virginia: Alliance for Responsible CFC Policy, 1987).

42. Steve Risotto, Halogenated Solvents Industry Alliance, Washington, D.C., private communication, August 31, 1988.

43. Cogan, *Stones in a Glass House*.

44. Ron Wolf, "Ozone Layer Negotiations Target Chlorofluorocarbons," *Journal of Commerce*, August 13, 1987; Alliance for Responsible CFC Policy, *The Montreal Protocol*.

45. Cogan, *Stones in a Glass House*; P.H. Gamlen et al., "The Production and Release to the Atmosphere of  $\text{CCl}_3\text{F}$  and  $\text{CCl}_2\text{F}_2$  (Chlorofluorocarbons CFC-11 and CFC-12)," *Atmospheric Environment*, Vol. 20, No 6, 1986; Elizabeth Festa Gormley, Chemical Manufacturers Association, Washington, D.C., private communication, August 31, 1988; Christopher R.P. Bevington, Metro Consulting Group, Ltd., London, private communication, May 23, 1988; Risotto, private communication.

46. EPA, *Regulatory Impact Analysis*; Richard Monastersky, "Decline of the CFC Empire," *Science News*, April 9, 1988; House of Commons Environment Committee, *Air Pollution* (London: Her Majesty's Stationery Office, 1988); Cogan, *Stones in a Glass House*; "White Paper on the Environment in Japan 1988," Japanese Environment Agency, May 1988.

47. CMA, "Production, Sales, and Calculated Release."

48. Cogan, *Stones in a Glass House*.

49. CMA, "Production, Sales, and Calculated Release"; Risotto, private communication.

50. Michael Weiskopf, "EPA Urges Halt in Use of CFCs," *Washington Post*, September 27, 1988; Hoffman and Gibbs, *Future Concentrations*.

51. UNEP, "Montreal Protocol"; UN Treaty Office.

52. Cogan, *Stones in a Glass House*; CMA, "Production, Sales, and Calculated Release"; Michael Kavanaugh et al., "An Analysis of the Economic Effects of Regulatory and Non-regulatory Events Related to the Abandonment of Chlorofluorocarbons as Aerosol Propellants in the United States From 1970 to 1980, with a Discussion of Applicability of the Analysis to Other Nations," ICF Inc., Washington, D.C., February 1986 (rev.); Nigel Haigh, *EEC Environmental Policy & Britain* (Harlow, Essex: Longman Group UK, Ltd., 1987).

53. Haigh, *EEC Environmental Policy & Britain*; cumulative emissions reductions from EPA, *Regulatory Impact Analysis*; CMA, "Production, Sales, and Calculated Release."

---

54. CMA, "Production, Sales, and Calculated Release."

55. "The Aerosol Industry and CFCs: A Parting of the Ways," *ENDS Report*, January 1988; Mark Vandenreeck, Belgian Embassy, Washington, D.C., private communication, April 14, 1988; Wolf Dieter Garber, Umweltbundesamt, Berlin, West Germany, private communication, June 24, 1988; "Aerosol Makers to Offer Voluntary Labeling for Products Without CFCs, Association Says," *International Environment Reporter*, June 8, 1988; Vera Rich, "Growing Reaction to Ozone Hole in Soviet Union," *Nature*, August 25, 1988.

77

56. R. Carun et al., "The Social Cost of Technical Control Options to Reduce Emissions of Potential Ozone Depleters in the United States: An Update," Rand Corporation, Santa Monica, California, May 1986; Alan S. Miller and Irving M. Mintzer, "The Sky Is the Limit: Strategies for Protecting the Ozone Layer," World Resources Institute, Washington, D.C., November 1986.

57. M. Drechsler, Umweltbundesamt, Berlin, West Germany, private communication, June 24, 1988; L.R. Wallace, AT&T, Princeton, N.J., private communication, March 9, 1988; Maurice Verhille, Atochem, Paris, private communication, June 17, 1988; Kevin Fay, Alliance for Responsible CFC Policy, Rosslyn, Virginia, private communication, October 14, 1988; J. Rodgers, Allied-Signal, "Recycling and Recovery of Solvents in the Electronics Industry," in "Proceedings of Conference and Trade Fair: Substitutes and Alternatives to CFCs and Halons," EPA, Washington, D.C., January 13-15, 1988 (hereinafter cited as Substitutes and Alternatives Conference).

58. "Takeshita Cabinet Approves Ozone Bill Including Tax Incentives for CFC Recycling," *International Environment Reporter*, April 13, 1988.

59. C.H. Mueller, "Report on Realization and Results with a Full Scale CFC-11 Recovery Unit in the Flexible Foam Slabstock Production at Recticel in Kesteren Holland," Escher Hoogezand, Netherlands, March 11, 1987; Dr. H. Creyf, Recticel, Testimony before the West German Bundestag, Commission on Preventive Measures to Protect the Earth's Atmosphere, April 13, 1988; National Swedish Environmental Protection Board, *CFCs/Freons: Proposals to Protect the Ozone Layer* (Solna, Sweden: 1987); "Foam Plastics: Next in Line for the CFCs Campaign," *ENDS Report*, March 1988; N.C. Vreenegeoor, "Environmental Considerations in the Production of Flexible Slabstock," Substitutes and Alternatives Conference.

60. Mueller, "Report on Realization and Results with a Full Scale CFC-11 Recovery Unit"; Creyf, Testimony; National Swedish Environmental Protection Board, *CFCs/Freons*; "Foam Plastics: Next in Line," *ENDS Report*; Vreenegeoor, "Environmental Considerations in the Production of Flexible Slabstock."

---

61. EPA, Addenda to *Regulatory Impact Analysis*.

62. Sarah L. Clark, "Protecting the Ozone Layer: What You Can Do," Environmental Defense Fund, 1988; Jean Lupinacci, EPA, private communication, October 14, 1988; Kenneth Manz, Robinair, Montpelier, Ohio, private communication, August 11, 1988.

7V

63. Clark, "Protecting the Ozone Layer"; Lupinacci, private communication.

64. Mr. Pautz, Umweltbundesamt, Berlin, West Germany, private communication, June 24, 1988.

65. John R. Fisher, "A New Resin Defludging Alternative," AT&T, Princeton, N.J., 1988; Philip Shabecoff, "New Compound Is Hailed as Boon to Ozone Shield," *New York Times*, January 14, 1988; Pamela S. Zurer, "Search Intensifies for Alternatives to Ozone Depleting Halocarbons," *Chemical and Engineering News*, February 8, 1988; Sudhakar Kesavan, "Overview of CFC-113 Use in the Electronics Industry and Control Options Available," Substitutes and Alternatives Conference.

66. Laurie Hays, "Du Pont Plans Plant to Produce Refrigerant Harmless to Ozone," *Wall Street Journal*, September 30, 1988; "Du Pont Plans Commercial-scale Plant for Production of CFC-12 Substitute," *Journal of Commerce*, September 30, 1988; Malcolm Gladwell, "Du Pont Plans to Make CFC Alternative," *Washington Post*, September 30, 1988.

67. "Carbide Easing an Ozone Peril," *Washington Post*, August 6, 1988; "Dow to Curtail CFCs," *Washington Post*, May 14, 1988.

68. Thomas P. Nelson, "Findings of the Chlorofluorocarbon Chemical Substitutes International Committee," EPA, Washington, D.C., 1988; Melrion Jones, "In Search of Safe CFCs," *New Scientist*, May 26, 1988; U. Bohr, Du Pont, Testimony before the West German Bundestag, Commission on Preventive Measures to Protect the Earth's Atmosphere, April 25, 1988; Imperial Chemical Industries (ICI), Testimony before the West German Bundestag, Commission on Preventive Measures to Protect the Earth's Atmosphere, April 29, 1988.

69. "Du Pont Sees Progress in Replacing Fluorocarbons," *Chemical Marketing Reporter*, January 11, 1988; "Korean Firm Joins in International Effort to Pool Knowledge on CFC Toxicity Testing Studies," *International Environmental Reporter*, April 13, 1988; Greg Freiherr, "Can Chemists Save the World from Chemists?" *The Scientist*, May 16, 1988.

70. Camm et al., "Social Cost of Technical Control Options"; National Swedish Environmental Protection Board, *CFCs/Freons*.

71. Makhijani et al., *Saving Our Skins*; Nick Sundt, OTA, Washington, D.C., private communication, July 28, 1988.

72. Tom Potter, "Potential for Offsetting CFCs with Advanced Insulation," Substitutes and Alternatives Conference.

73. John W. Mossel, "Uses of Halons and Opportunities for Emission Reductions: Size and Structure of the Market," Substitutes and Alternatives Conference.

7A

74. *Ibid.*; Tom Moorehouse, "The Air Force Halon/Ozone Research Program," Substitutes and Alternatives Conference.

75. Gregory C. Munle, AT&T Bell Laboratories, "Experience with the Use of Aqueous Cleaning in the Electronics Industry," Substitutes and Alternatives Conference; Leo Lambert, "Digital Equipment Corporation Experience with Aqueous Cleaning," Substitutes and Alternatives Conference; Eileen B. Claussen, "Moving Forward Together," *The Environmental Forum*, July/August 1988; Kathi Johnson, U.S. Navy, "Alternative Cleaning Materials: Research Topics for the Military," Substitutes and Alternatives Conference.

76. UNEP, "Montreal Protocol"; OTA, "An Analysis of the Montreal Protocol."

77. Hoffman and Gibbs, *Future Concentrations*.

78. James K. Hammitt et al., "Future Emission Scenarios for Chemicals that May Deplete Stratospheric Ozone," *Nature*, December 24, 1987; Arjun Makhijani, Institute for Energy and Environmental Research, Takoma Park, Maryland, private communication, October 26, 1988.

79. Hansen, Testimony before the Committee on Energy and Natural Resources; Fisher, Testimony before the Subcommittee on Energy and Power; Wigley, "Future CFC Concentrations"; F. Sherwood Rowland and Daniel G. Aldrich Jr., "Chlorofluorocarbons, Stratospheric Ozone, and the Antarctic 'Ozone Hole'," *Environmental Conservation*, Summer 1988.

80. Hoffman and Gibbs, *Future Concentrations*.

81. *Ibid.*

82. Government of Sweden, "Environmental Policy for the 1990s," Environmental Bill, March 4, 1988; Sverker Hogberg, scientific counselor, Embassy of Sweden, Washington, D.C., private communication, October 13, 1988.

---

83. National Swedish Environmental Protection Board, *CFCs/Freons*; Government of Sweden, "Environmental Policy for the 1990s."

84. Liz Cook, Friends of the Earth, Washington, D.C., private communication, October 6, 1988.

79 85. Lord Calthness, UK minister of the environment, statement to the press, October 3, 1988; Phillip Shabecoff, "EPA Chief Asks Total Ban on Ozone-harming Chemicals," *Washington Post*, September 27, 1988; Wolf Dieter Garber, private communication.

86. For further discussion of a tax on ozone depleting substances see Cogan, *Stones in a Glass House*, and Makhijani, *Saving Our Skins*.

87. Mark Ledbetter, American Council for an Energy Efficient Economy, Washington, D.C., private communication, October 12, 1988; Terry Statt, U.S. Department of Energy, Washington, D.C., private communication, October 12, 1988.

88. National Swedish Environmental Protection Board, *CFCs/Freons*.

89. Joan Martin-Brown, UNEP, Washington, D.C., private communication, November 1, 1988; Senator John H. Chafee, Statement in *Preparing for Climate Change: Proceedings of the First North American Conference on Preparing for Climate Change: A Cooperative Approach* (Washington, D.C.: Government Institutes, Inc., 1988).

---

# **Protecting Life on Earth Steps to Save the Ozone Layer**

Cynthia Pollock Shea

---

## **Table of Contents**

**Introduction**

**The Ozone Depletion Puzzle**

**Effects of Ultraviolet Radiation**

**Chemical Wonders, Atmospheric Villains**

**Reducing Emissions**

**Beyond Montreal**

**Notes**



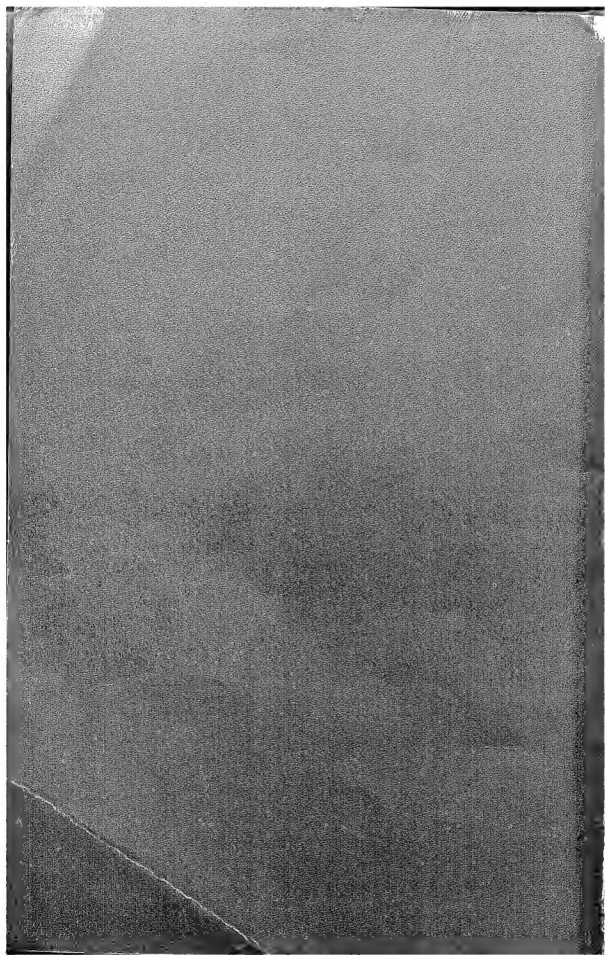


رقم الإيداع : ١٩٩١/٩٧٩٦

I.S.B.N 977-5108-12-8



National Organization of the Alexandria Library (UNESCO)  
*Bibliothèque d'Alexandrie*



3.738

75

شي  
ح

Worldwatch Institute  
1776 Massachusetts Avenue, N.W.  
Washington, D.C. 20036 USA